

Einsatz von Virtual Reality an der Schweizer Volksschule

Masterarbeit

Studiengang Master of Science in Wirtschaftsinformatik

Auftraggeber: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften,
Departement School of Management and Law,
Institut für Wirtschaftsinformatik

Autor: Philipp Glauser, Matrikelnummer: 08-160-046

Erstbegutachter: Dr. Thomas Keller, ZHAW School of Management and Law

Zweitbegutachter: Dr. Nico Ebert, ZHAW School of Management and Law

Abgabedatum: 18.05.2018

"Erkläre mir, und ich vergesse. Zeige mir, und ich erinnere. Lass es mich tun, und ich verstehe."

Konfuzius 551-479 v. Chr.

Management Summary

Virtual Reality (VR) erhält seit den technologischen Entwicklungen der letzten zwei Jahre eine hohe Medienaufmerksamkeit. Aktuell sind es vor allem Privatkonsumenten, welche sich zur persönlichen Unterhaltung in der virtuellen Welt aufhalten. Künftig könnte die Technologie jedoch vermehrt in Unternehmen und öffentlichen Institutionen eingesetzt werden. Glaubt man den Prognosen der Technologie-Analysten, wird Virtual Reality in fünf bis zehn Jahren in die Schulzimmer einziehen.

Diese Masterarbeit untersucht den praktischen Einsatz von VR an der Schweizer Volksschule. Dazu wird zum Kompetenzbereich Natur und Technik 3.3 aus dem Lehrplan 21 ein Prototyp einer VR-Lernumgebung entwickelt und im Rahmen eines Pilotversuchs getestet. Das Ziel dieser Arbeit ist eine Überprüfung, ob VR für die Schweizer Volksschule einen didaktischen Mehrwert bringen kann.

Trotz der langen Forschungshistorie des Themas sind keine wissenschaftlichen Daten hinsichtlich der langfristigen Auswirkungen von VR-Lernumgebungen auf den Kompetenzaufbau und die Motivation der Schülerschaft verfügbar. Während der Literaturanalyse konnte durch den Vergleich von verschiedenen Forschungsstudien die Nutzenpotenziale für die Ausbildung in Abhängigkeit zu den Eigenschaften der Technologie erläutert werden. Anhand der bisherigen Forschung wurde aufgezeigt, dass sich vor allem naturwissenschaftliche Fachgebiete für den Einsatz von VR eignen.

Das Forschungsdesign orientiert sich am Design Science-Modell von Hevner et al. Während der Konzeptionsphase wurde eine Lerneinheit zum Thema "Plastik (Kunststoffe) und seine Auswirkungen auf die Umwelt", bestehend aus fünf Lernblöcken, entworfen. Zu jedem dieser Blöcke konnten verschiedene Ideen für VR-Anwendungsfälle entwickelt werden. Die so erstellte Vision wurde mit vier Lehrpersonen hinsichtlich ihrer didaktischen Kompatibilität besprochen und die Anwendungsfälle bewertet. Der für die Umsetzung ausgewählte Vorschlag "Umweltproblem Mikroplastik" passt nicht nur gut in den Lehrplan 21, sondern verfügt über eine hohe gesellschaftliche Relevanz und deckt sich mit den in der Literatur definierten Anforderungen an eine VR-Lernumgebung.

Anhand eines iterativen Ansatzes für VR-Applikationen wurde ein Prototyp zum Thema "Umweltproblem Mikroplastik" entwickelt. Getestet und beurteilt wurde der Prototyp von einer Sekundarschulklasse. Die Schüler gaben an, durch VR motivierter gewesen zu sein und möchten gerne auch in Zukunft innerhalb von virtuellen Welten lernen. Aufgrund der geringen Stichprobe von 16 Teilnehmenden sind die Daten wissenschaftlich nicht aussagekräftig und dienen lediglich als Indizien.

Die wichtigsten Artefakte dieser Arbeit sind ein Vorgehensmodell für die Entwicklung von VR-Lernumgebungen und der Prototyp. Mit letzterem ist eine virtuelle Welt entstanden, welche die vielseitigen Möglichkeiten der Technologie zur Vermittlung von Wissen aufzeigt. Für die Wissenschaft konnte so ein Hilfsmittel für weitere Feldstudien geschaffen werden. Weiter können interessierte Lehrpersonen den Prototyp ausprobieren und somit ein Verständnis für die Chancen der Technologie aufbauen.

Eine wissenschaftlich fundierte Aussage über den Mehrwert von VR an der Schweizer Volksschule kann nicht gemacht werden. Dazu braucht es Untersuchungen, welche die langfristigen Effekte der Technologie auf die schulische Entwicklung der Kinder untersuchen. Die Ergebnisse dieser Arbeit können einen Teil dazu beitragen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen, die mich während dieser Masterarbeit fachlich und persönlich unterstützt haben, bedanken.

Mein Dank gilt Dr. Thomas Keller für die Vergabe dieses interessanten Themas, die hervorragende Betreuung und die hilfreiche Unterstützung. Ebenso danke ich Dr. Nico Ebert für die Bereitschaft, die Zweitbegutachtung zu übernehmen.

Ein grosses Dankeschön gilt David Suter. Er hat mich jederzeit persönlich und fachlich unterstützt und mich immer wieder inspiriert und motiviert. Zusätzlich hat er die Arbeit korrekturgelesen.

Weiter möchte ich mich bei Valery Schuller bedanken. Sie hat den Kontakt zu der Sekundarschule Meilen vermittelt.

Danken möchte ich der Sekundarschule Meilen, insbesondere Martin Aebi für die Partizipation an dieser Arbeit während der Konzeptions- und der Evaluationsphase. Der Klasse 2b danke ich für das Ausprobieren des Prototyps und die wertvollen Rückmeldungen.

Ohne die Interviewpartner hätte diese Arbeit so nicht entstehen können. Mein Dank gilt Katrin Bölsterli, Daniel Degen und René Moser für ihre Informationsbereitschaft und die wertvollen Gespräche.

Andreas Hebeisen danke ich für den regen Austausch und die Unterstützung bei der Organisation eines zweiten VR-Systems. Ein grosses Dankeschön gilt Christian Rothen, der mir kurzfristig seine HTC Vive ausgeliehen hat.

Weitere möchte ich mich bei Livia Marxer bedanken, die als Testbenutzerin wichtiges Feedback zur Verbesserung der VR-Lernumgebung eingebracht hat.

Meiner Familie danke ich für das Verständnis und die Unterstützung, die sie mir jederzeit entgegenbringen.

Zu guter Letzt gilt ein grosses Dankeschön meiner Freundin Angelika Marxer. Sie musste nicht nur über Monate auf mich verzichten, sondern hat mich jederzeit tatkräftig unterstützt – sei es bei der Ideensammlung, beim Pilotversuch in Meilen und beim abschliessenden Korrekturlesen.

Wahrheitserklärung

„Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und nur unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst habe und dass ich ohne schriftliche Zustimmung der Studiengangleitung keine Kopien dieser Arbeit an Dritte aushändigen werde.“

Gleichzeitig werden sämtliche Rechte am Werk an die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) abgetreten. Das Recht auf Nennung der Urheberschaft bleibt davon unberührt.

Name/Vorname Student/in (Druckbuchstaben)
Philipp Glauser

Unterschrift (Student/in)



Gender-Erklärung

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Diplomarbeit die Sprachform des generischen Maskulinums angewendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschliessliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Forschungsfrage	2
1.4	Abgrenzung	3
1.5	Relevanz der Arbeit	3
1.5.1	Wissenschaftliche Relevanz	3
1.5.2	Praktische Relevanz	3
2	Aktueller Stand des Wissens	6
2.1	Virtual Reality	6
2.1.1	Definition	6
2.1.2	Historische Entwicklung	8
2.1.3	Technische Komponenten	8
2.2	Didaktik	9
2.2.1	Lehrplan 21	9
2.2.2	Erfahrungsbasiertes Lernen	10
2.3	Virtual Reality in der Schule	11
2.3.1	Erwarteter Nutzen	11
2.3.2	Anwendungsbereiche	12
2.3.3	Forschungsergebnisse zum Nutzen von VR in der Schule	13
2.3.4	Modelle	14
2.4	Weitere Literatur	15
3	Methodik	16
3.1	Forschungsmethode	16
3.1.1	Literaturrecherche	17
3.1.2	Experteninterviews	17
3.1.3	Quantitative Umfrage	17
3.2	Artefakte	18
3.3	Projektvorgehen	18
4	Resultate	19
4.1	Vision	19
4.1.1	Lerneinheit	19
4.1.2	VR-Anwendungsfälle	24
4.1.3	Bewertung der VR-Anwendungsfälle	24
4.1.4	Auswahl eines VR-Anwendungsfalls	27
4.2	Konzeption (Define)	27
4.2.1	Vision	28
4.2.2	Ziele	28
4.2.3	Personas	29
4.2.4	User-Stories	30
4.2.5	Storyboard	31
4.2.6	Zeitplan	36
4.3	Entwicklung (Make)	36
4.3.1	Technologieauswahl	36

4.3.2	Unity	37
4.3.3	Implementierungs-Logbuch	39
4.3.4	Prototyp	42
4.4	Evaluation (Learn)	49
4.4.1	Durchführung Pilot	49
4.4.2	Auswertung	50
4.5	Vorgehensmodell	52
5	Diskussion	54
5.1	Technische Eigenschaften von VR für die Ausbildung	54
5.2	Von der Kompetenz zur VR-Lernumgebung	54
5.3	Anwendungsbereiche von VR in der Schule	55
5.4	Beurteilung durch die Schüler	55
5.5	VR – ein Mehrwert für die Schweizer Volksschule?	56
6	Konklusion	58
6.1	Zusammenfassung	58
6.2	Erkenntnisse für die Wissenschaft	58
6.3	Erkenntnisse für die Praxis	59
6.4	Ausblick	59
7	Literaturverzeichnis	61
Anhang A Fragebogen – Evaluation der VR-Lernumgebung		66
Anhang B Interviewleitfaden		68
Anhang C 7 Virtual Reality Anwendungsfälle		75
Anhang D Erkenntnisse aus Interviews – Vision VR Lektion NT3.3 - Zusammenfassung		82
Anhang E Leseauftrag		92
Anhang F Anleitung VR-Lernumgebung		99
Anhang G Umfrageresultate – Beurteilung VR-Lernumgebung		101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vereinfachte Darstellung des Nutzens von VR in der Schule	12
Tabelle 2: Herausforderungen von VR im Ausbildungsbereich (Liu et al., 2017, S. 123)	14
Tabelle 3: Beschreibung der Personas	30
Tabelle 4: User Stories.....	31
Tabelle 5: Storyboard für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Unterwasser	31
Tabelle 6: Storyboard für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Mikrowelt Grössenvergleich	33
Tabelle 7: Storyboard für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Angler fängt Fisch.....	34
Tabelle 8: Storyboard für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene "En Guetä"	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spannungsfelder der Arbeit	2
Abbildung 2: Gartner Hype Cycle for Education (Calhoun Williams, 2017, S. 5)	4
Abbildung 3: Themenbereiche State-Of-The-Art	6
Abbildung 4: Darstellung von VR mit dem Tracking von HMD und Controllern (Grubb, 2016).....	7
Abbildung 5: Überblick über die Teilsysteme eines VR-Systems (Dörner et al., 2013, S. 24)	9
Abbildung 6: Lernzyklus des erfahrungsbasierten Lernen in Anlehnung an Kolb (1984, S. 45).....	11
Abbildung 7: VR-Lernumgebung (Salzman et al., 1999, S. 295)	14
Abbildung 8: Exploratory Learning Model (de Freitas & Neumann, 2009, S. 346)	15
Abbildung 9: Forschungs-Framework für VR an der Schweizer Volksschule in Anlehnung an Hevner et al. (2004).....	16
Abbildung 10: Fragekategorien der quantitativen Umfrage	18
Abbildung 11: Vision einer VR-Lerneinheit zum Thema Kunststoff, initiale Version (1 Stern = sehr geringe Eignung, 3 Sterne = mittlere Eignung, 5 Sterne = sehr hohe Eignung)	22
Abbildung 12: Vision einer VR-Lerneinheit zum Thema Kunststoff, überarbeitete Version (1 Stern = sehr geringe Eignung, 3 Sterne = mittlere Eignung, 5 Sterne = sehr hohe Eignung).....	23
Abbildung 13: Iterativer VR-Entwicklungsprozess (Jerald, 2016, S. 370)	27
Abbildung 14: Persona Tim, Oberstufenschüler in der Schweiz (Korn, 2018)	30
Abbildung 15: Persona Ruth Muster, Oberstufenlehrerin im Bereich Natur & Technik in der Schweiz (Korn, 2018).....	30
Abbildung 16: Skizze für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Unterwasser	32
Abbildung 17: Skizze für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Mikrowelt Grössenvergleich	33
Abbildung 18: Skizze für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Angler fängt Fisch.....	34
Abbildung 19: Skizze für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene "En Guetä"	35
Abbildung 20: Unity-Oberfläche.....	39
Abbildung 21: Start – Fische und Abfall im Sichtfeld. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 1 "Unterwasser"	43
Abbildung 22: Aufgabe – Suche die Ketchup-Flasche. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 1 "Unterwasser"	43
Abbildung 23: Aufgabe – Bringe die Ketchup-Flasche in das Labor. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 1 "Unterwasser"	44
Abbildung 24: Start – Willkommen im Labor. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"	45
Abbildung 25: Aufgabe - Gehe nach Draussen und analysiere die Mikrowelt. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"	45
Abbildung 26: Aufgabe – Vergleich zwischen Mikroplastikpartikel und Ketchup-Flasche. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"	46
Abbildung 27: Aufgabe – Drücke den Button. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"	46
Abbildung 28: Kurzer Film über die Auswirkungen von Plastik. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"	47

Abbildung 29: Aufgabe – Finde den Ausgang. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"	47
Abbildung 30: Start - Gedeckter Campingtisch mit zwei Fischen im Teller. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 3 "En Guetä"	48
Abbildung 31: Start - Familie mit dabei, Papa im Stuhl, Mama am Feuer und Bruder am tanzen. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 3 "En Guetä"	48
Abbildung 32: Aufgabe - Iss den "richtigen" Fisch. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 3 "En Guetä"	49
Abbildung 33: Vorgehensmodell zur Entwicklung einer VR-Lernumgebung	53
Abbildung 35: PET-Flaschensammlung © Peter von Bechen / pixelio.de	92
Abbildung 35: PET-Flaschen© itestro - Fotolia.com	93
Abbildung 37: What lies under © Ferdí Rizkiyanto	94
Abbildung 38: Müllverbrennungsanlage © Gabi Schoenemann pixelio.de	97

Abkürzungsverzeichnis

EL *Erfahrungsbasiertes Lernen*

HMD *Head-Mounted Display*

IT *Information Technology*

K-12 *zusammenfassende Bezeichnung für den primären und sekundären Bildungsbereich*

LP *Lehrplan*

NT *Natur und Technik*

VR *Virtual Reality*

1 Einleitung

"Das Bildungswesen stammt aus dem 19. Jahrhundert, die Eltern und Lehrer sind aus dem 20. Jahrhundert und die Kinder leben im 21. Jahrhundert. Höchste Zeit, das Bildungswesen grundlegend zu erneuern." Remo Largo (2013, S. 25), der bekannte Schweizer Kinderarzt und Autor von verschiedenen Fachbüchern zum Thema Erziehung, kommentiert mit dieser pointierten Aussage den Zustand des Schweizer Bildungswesens.

Das Bildungssystem vieler Schweizer Kantone befindet sich derzeit im Umbruch. Mit dem Lehrplan 21 wurde ein neues Instrument geschaffen, welches die Bildung in den teilnehmenden Kantonen harmonisieren und die Ausbildungsziele für die Volksschule festlegen soll. Der Lehrplan 21 definiert Kompetenzen, welche sich die Schüler in neun Jahren Schulzeit aneignen. Neu gehören die beiden Kompetenzbereiche "Nachhaltige Entwicklung" und "Medien und Informatik" zum Lerninhalt. Neben den Unterrichtsinhalten gibt der Lehrplan 21 das Lern- und Unterrichtsverständnis vor. Durch vielfältige Unterrichtsmethoden sollen Neugier und Motivation der Schülerschaft geweckt werden.

Eine solche Methode könnte der Einsatz von Virtual Reality (VR) sein. VR ermöglicht es, Inhalte anzubieten, welche verschiedene menschliche Sinne ansprechen (Dörner, Broll, Grimm & Jung, 2013, S. 14). Laut dem Marktforschungsunternehmen Gartner könnte VR in fünf bis zehn Jahren in die Klassenzimmer Einzug halten (Calhoun Williams, 2017, S. 11).

1.1 Problemstellung

An den Schweizer Schulen ist ein flächendeckender Einsatz von VR im Unterricht noch Zukunftsmusik. Die für VR benötigten Hardware- und Softwarekomponenten sind für die breiten Massen zwar erhältlich und namhafte IT-Unternehmen stecken grosse finanzielle Mittel in den weiteren Ausbau der Technologie. Was derzeit aber fehlt, sind konkrete Applikationen und Inhalte für die potenziell interessanten Anwendungsfälle, so auch für den Einsatz von VR im Schulunterricht. Es gibt keine fertigen Lektionen, auf welche das Lehrpersonal zurückgreifen könnte. Dies, obwohl die ersten wissenschaftlichen Studien VR im Unterricht positive Effekte attestieren. Wie eine VR-Lektion genau aufgebaut werden soll, ist erst spärlich erforscht. Es gibt keine allgemeingültigen Vorgehensmodelle, welche bei der Erstellung der Lektion oder auch später bei der Messung des Effekts von VR im Klassenzimmer beigezogen werden können.

Wie Menschen am besten lernen, wurde seit jeher von den Forschern der Erziehungswissenschaft bestimmt. Nach dem Schock der schlechten Ergebnisse der ersten PISA-Studie im Jahr 2000 wurden die didaktischen Methoden jedoch auf breiter Front in Frage gestellt. Neue Unterrichtsformen wie das erfahrungsbasierte Lernen, wurden in die Lehrpläne aufgenommen und sollen den Wissensaufbau unterstützen. In der Schweiz legt der Lehrplan 21 im Kapitel "Lern- und Unterrichtsverständnis" fest, wie der Unterricht gestaltet werden soll.

Neben dem Aufbau und der Struktur der Lektionen ist der präsentierte Inhalt für den Lernerfolg massgebend. Der Lehrplan 21 legt für jede Lernstufe die zu erreichenden Kompetenzen fest.

Wie in Abbildung 1 aufgezeigt, bewegt sich die Arbeit zwischen den Spannungsfeldern der Technologie VR, dem didaktischen Vorgehen und dem inhaltlichen Aufbau einer Lektion.

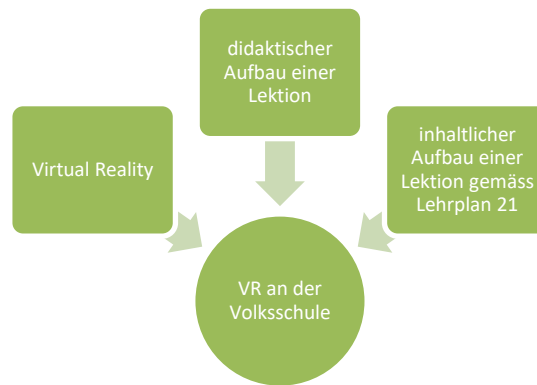


Abbildung 1: Spannungsfelder der Arbeit

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Konzeption einer Unterrichtseinheit in der virtuellen Welt für die Schweizer Volksschule. Die Unterrichtseinheit basiert auf einer im Lehrplan 21 definierten Kompetenz und soll als Ergänzung zum klassischen Unterricht dienen. Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit ist die Konzeption und Entwicklung eines Prototyps der definierten Unterrichtseinheit. Dieser soll in einem Pilotversuch von einer Schulklasse getestet und beurteilt werden. Damit soll der praktische Einsatz von VR an der Volksschule untersucht werden. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Immersion der Lektion, diese beschreibt den Effekt des Eintauchens in eine virtuelle Welt.

Die Arbeit unterteilt sich in folgende Teilziele:

1. Recherche zum Themenbereich VR in der Schule
2. Identifikation und Konzeption einer Unterrichtseinheit
3. Kritische Beurteilung und Diskussion dieser Unterrichtseinheiten mit Lehrpersonen
4. Erstellung eines Prototyps gemäss dem Konzept der Unterrichtseinheit
5. Durchführung der Unterrichtseinheit im Sinne einer Validierung
6. Dokumentation der Arbeit
7. Publikation dieser Unterrichtseinheit

1.3 Forschungsfrage

Mit der vorliegenden Arbeit soll folgende Forschungsfrage beantwortet werden:

Können VR-Lernumgebungen an der Schweizer Volksschule einen didaktischen Mehrwert bringen?

Die Hauptfrage der Forschungsarbeit befasst sich mit dem didaktischen Nutzen von VR. Ist es sinnvoll, VR im Klassenzimmer einzusetzen und falls ja, in welchen Fällen bringt VR einen Mehrwert?

Arbeitsfragen

Die folgenden Arbeitsfragen gliedern die Forschungsfrage in Teilfragen. Diese sollen helfen, die Forschungsfrage zu beantworten.

Welche Vorteile bieten die technischen Eigenschaften von VR?

Diese Frage zielt auf den Effekt des Eintauchens in die virtuelle Welt. Bei der Beantwortung der Frage soll aufgezeigt werden, was der effektive Mehrwert des immersiven Lernerlebnisses ist.

Welche Art von Unterrichtseinheiten eignen sich für den Einsatz von VR?

Aufgrund der Antwort aus der ersten Teilfrage kann eingeschätzt werden, für welche Art von Inhalten sich die Darstellung in der virtuellen Welt eignet.

Wie geht man bei der Gestaltung einer VR-Lernumgebung vor?

Im Rahmen der Konzeptionierung soll der Frage nach dem Vorgehen für die Gestaltung einer Lektion in der virtuellen Welt nachgegangen werden.

Wie beurteilen die Schüler die Lektion in der VR?

Die Schüler sollen nach dem Ausprobieren des Prototyps bezüglich ihrer Erfahrung befragt werden.

1.4 Abgrenzung

Die Forschung beschränkt sich auf die obenstehenden Fragestellungen. Eine detaillierte State-Of-The-Art-Analyse der technischen Komponenten von VR ist nicht Teil dieser Arbeit. Die vorliegende Arbeit erhebt nicht den Anspruch, die im Lehrplan 21 vorgeschriebenen didaktischen Vorgaben zu hinterfragen – vielmehr soll darauf aufgebaut werden.

1.5 Relevanz der Arbeit

In den folgenden beiden Kapiteln wird die Relevanz dieser Arbeit dargelegt. Dabei wird zwischen der Relevanz des Themas für die Wissenschaft und der praktischen Relevanz unterschieden.

1.5.1 Wissenschaftliche Relevanz

Der Einsatz von VR in der Schule wird bereits seit den frühen 1990er Jahre von der Wissenschaft untersucht. In einem 1993 erschienenen Artikel hält Schröder (S. 112) fest: "Wie unsere Diskussion gezeigt hat, haben beide Projekte grosse Begeisterung unter Schülern und Lehrern hervorgerufen". Seither wurde das Thema vielseitig erforscht. Zwei Meta-Studien von Mikropoulos et al. (2011) und Merchant et al. (2014) fassen die Forschungsergebnisse zusammen. Beide kommen zum Erkenntnis, dass die Vermittlung von Wissen mittels VR effektiv ist. Diese Ergebnisse sollen mit dem Prototyp, im Rahmen der Untersuchung an der Schweizer Volksschule, überprüft werden.

Merchant et al. (2014, S. 37) empfehlen, weitere Studien mit speziellem Fokus auf das Design und den Aufbau der Lektionen durchzuführen. Die vorliegende Arbeit möchte diese Forschungslücke schliessen.

1.5.2 Praktische Relevanz

VR ist spätestens seit der Einführung der Head-Mounted Displays (HMD) für den Consumer-Bereich der breiten Öffentlichkeit bekannt. Mit der VR-Technologie können Inhalte angezeigt werden, welche die menschlichen Sinne Sehen, Hören und Spüren ansprechen. Die hohen Erwartungen konnte die Technologie bis anhin aber noch nicht erfüllen. Im Gartner Hype-Cycle für "Emerging Technology", der die Phasen der Entwicklung neuer Technologien darstellt, verbleibt VR in der Phase "Slope of Enlightenment" (Walker, 2017, S. 63). Diese Phase bedeutet, dass obwohl die Medienberichterstattung abgenommen hat, langsam ein Verständnis für die wahren Vorteile der Technologie entsteht. Die Ausbildung ist nach Walker (2017, S. 63) ein Anwendungsszenario für VR. Die Möglichkeit, dass sich Schüler selbstständig in 3D-Welten bewegen und mit diesen interagieren, ist laut einem Report

von Goldman Sachs (Bellini et al., 2016, S. 25) eines der wichtigsten Argumente für den Einsatz von VR im Klassenzimmer.

Trotz den grossen Fortschritten in den letzten Jahren verfüge die Technologie noch nicht über die nötige Reife und es gebe noch pädagogische Hürden zu nehmen, so die Analysten von Gartner (Calhoun Williams, 2017, S. 10). Was mit letzterem gemeint ist, wird nicht genauer erläutert. VR wird im Gartner Hype Cycle for Education (Abbildung 2) in die erste Phase "Innovation Trigger" eingeteilt, die Marktdurchdringung wird frühestens in fünf bis zehn Jahren erwartet (Calhoun Williams, 2017, S. 10).

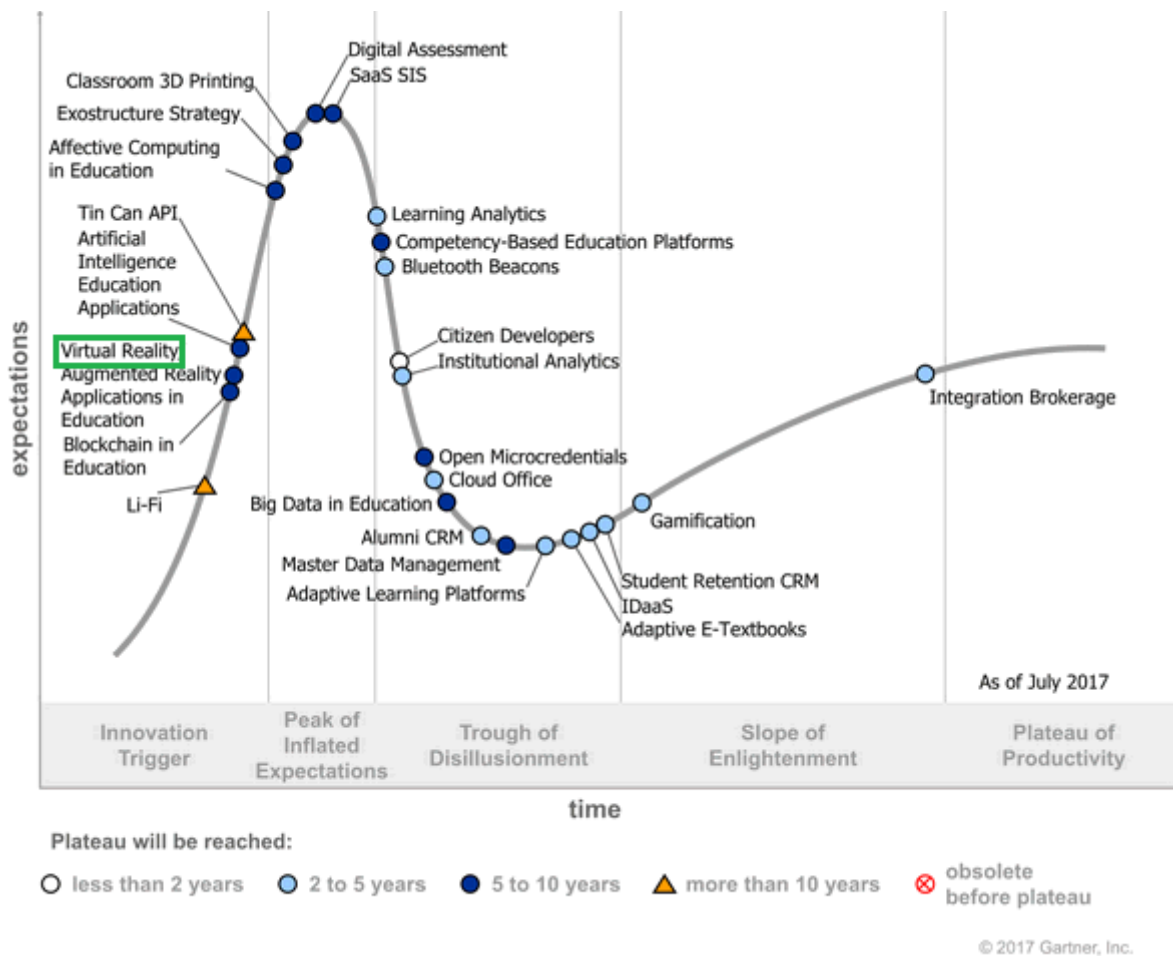


Abbildung 2: Gartner Hype Cycle for Education (Calhoun Williams, 2017, S. 5)

Durch die Entwicklung und den Vertrieb von VR-Lernumgebungen könnten neue Geschäftsfelder entstehen. Eine VR-Unterrichtseinheit für ein weltweit unterrichtetes Fach könnte übersetzt und theoretisch an jede Schule der Welt verkauft werden. Aktuell sind dies noch visionäre Gedankenspiele, in der Realität hinken die Schulen – nicht zuletzt auch wegen finanziellen Rahmenbedingungen – der technologischen Entwicklung um Jahre hinterher.

Wie eingangs erwähnt, wird im "Lern- und Unterrichtsverständnis" des Lehrplans 21 an verschiedenen Stellen festgehalten, dass im Unterricht vielfältige Methoden eingesetzt, Spielelemente einbezogen und fachdidaktische Lernmedien hinzugezogen werden sollen (D-EDK, 2016, S. 27). VR bietet diese Möglichkeiten und kann dadurch zu einer alternativen Form der Wissensvermittlung im Unterricht werden.

Der Inhalt der im Rahmen der Arbeit zu gestaltenden Unterrichtseinheit wird so ausgewählt, dass VR für das Thema aufgrund des immersiven Erlebnisses einen entscheidenden Vorteil gegenüber konventionellen Lehrmitteln aufweist.

2 Aktueller Stand des Wissens

In diesem Kapitel wird die bestehende Literatur mit dem Ziel analysiert, ein Verständnis über den aktuellen Stand der Forschung zu erhalten. Der Hauptfokus liegt dabei auf den Forschungsergebnissen im Bereich von VR für die Ausbildung. Vorgängig werden die Technologie und die Didaktik kurz erläutert. Abbildung 3 zeigt die drei Themenbereiche dieses Kapitels.

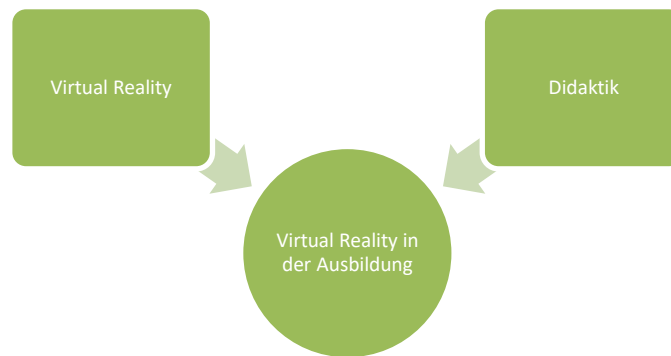


Abbildung 3: Themenbereiche State-Of-The-Art

2.1 Virtual Reality

2.1.1 Definition

VR ist ein relativ junges Wissenschaftsgebiet, welches stark von den Fortschritten der zugrundeliegenden Hardware abhängt. Dies ist laut Dörner der Grund, weshalb die Wissenschaft in diesem Bereich noch keine einheitliche Definition für VR hervorgebracht hat (2013, S. 12). Jedoch besteht eine weitgehende Übereinkunft bezüglich der wesentlichen und wünschenswerten Eigenschaften von VR. Um eine Abgrenzung zu traditionellen Mensch-Computer-Schnittstellen vorzunehmen, betrachtet Dörner VR aus den drei verschiedenen Blickwinkeln: Technologie, Mensch-Computer-Schnittstelle und mentale Erfahrung von VR (Dörner et al., 2013, S. 12). Diese Unterteilung ist vergleichbar mit der von Burdea und Coiffet (2003, S. 25), welche VR anhand der drei I's beschreiben: Immersion, Interaction und Imagination.

Technologie (Immersion)

Burdea und Coiffet (2003, S. 25) definieren VR als hochentwickelte Mensch-Computer-Schnittstelle, welche Echtzeitsimulationen und die Interaktion über verschiedene Sensoren ermöglicht. Dem ähnlich ist die Definition von Bryson (1993): "Virtual Reality (VR) refers to the use of three-dimensional displays and interaction devices to explore real-time computer-generated environments." Folgende Merkmale unterscheiden VR laut Dörner (2013, S. 13) von traditionellen Computersystemen:

- Darstellung von 3D-Inhalten mit dreidimensionalen Displays in Echtzeit
- Multisensorische Präsentation der Inhalte
- Einsatz von 3D-Interaktionsgeräten zum Tracking der Position und der Orientierung im Raum mittels
- Sensorische Rückmeldungen bei der Interaktion

Ein zentrales Unterscheidungsmerkmal von VR gegenüber traditionellen Mensch-Computer-Schnittstellen ist die Immersion. Aus technischer Perspektive fordert diese, dass die Sinneseindrücke des VR-Benutzers möglichst umfassend durch ein oder mehrere Ausgabegeräte angesprochen werden (Dörner et al., 2013, S. 14). Gemäss Slater und Wilbur (Mel Slater & Wilbur, 1997, S. 3) basiert Immersion auf den folgenden vier technischen Eigenschaften der Ausgabegeräte:

1. Die durch den Menschen erlebten Sinneseindrücke sollen wenn möglich ausschliesslich durch den Computer generiert werden
2. Es sollen möglichst viele Sinne angesprochen werden
3. Die Ausgabegeräte sollen den Nutzer vollständig umgeben
4. Die Ausgabegeräte sollen eine „lebendige“ Darstellung bieten

In Abbildung 4 ist der Aufbau einer VR-Umgebung an einem Beispiel dargestellt.

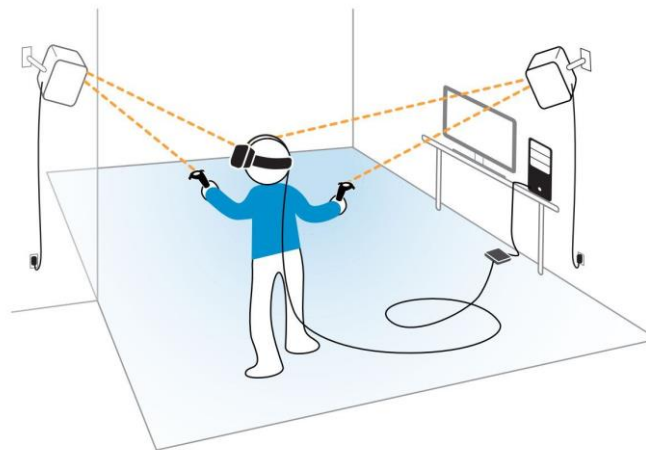


Abbildung 4: Darstellung von VR mit dem Tracking von HMD und Controllern (Grubb, 2016)

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der Begriff des voll-immersiven Systems verwendet. Damit ist eine VR-Umgebung gemeint, welche die vier beschriebenen Eigenschaften möglichst umfänglich erfüllt.

Mensch-Computer-Schnittstelle (Interaction)

Die Eigenschaften der Interaktion folgen der Prämisse, dass VR ein natürliches und intuitives Interagieren mit der simulierten 3D-Umgebung erlaubt. Dieses Ziel wird dann erreicht, wenn der Benutzer komplett von der physikalischen Realität abgeschirmt wird und alle Sinneseindrücke computergeneriert sind (Dörner et al., 2013, S. 17).

Mentale Erfahrung von VR (Imagination)

Die Betrachtung der mentalen Erfahrung untersucht was passiert, wenn die virtuelle nicht mehr von der physikalischen Realität unterscheidbar ist. Das zentrale Konzept zur Beschreibung der mentalen Aspekte der VR-Erfahrung ist die Präsenz (Dörner et al., 2013, S. 18). Laut Slater (2003, S. 2) spricht man dann von Präsenz, wenn man in der virtuellen Welt das Gefühl hat, man sei in der realen Welt. Das Gefühl der Präsenz setzt sich aus den folgenden drei Teilaspekten zusammen:

1. Ortsillusion – das Gefühl sich an dem Ort zu befinden, welcher in der virtuellen Welt dargestellt wird (Slater, 2009, S. 3)

2. Plausibilitätsillusion – die in der VR dargestellten Ereignisse werden als real wahrgenommen (Slater, 2009, S. 5)
3. Involviertheit – der Grad der Aufmerksamkeit und des Interesses des Nutzers an der simulierten Welt (Witmer & Singer, 1998, S. 227)

2.1.2 Historische Entwicklung

"The ultimate display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter. A chair displayed in such a room would be good enough to sit in. Handcuffs displayed in such a room would be confining, and a bullet displayed in such a room would be fatal. With appropriate programming such a display could literally be the Wonderland into which Alice walked." (Sutherland, 1965, S. 2)

Mit diesen Gedanken schloss Sutherland im Jahr 1965 seine Arbeit mit dem Titel "The Ultimate Display" ab. Bereits drei Jahre später hatte er ein erstes HMD entwickelt, mit welchem er den Grundstein für die weitere Erforschung von VR gelegt hatte. Der Begriff "Virtual Reality" wurde von Jaron Larnier das erste Mal in der Wissenschaft gebraucht (Dörner et al., 2013, S. 19). Ab Mitte 1980 entstanden durch die rasante technologische Entwicklung die ersten VR-Systeme. Eines der bekanntesten war CAVE: Ein Raum zur Projektion von 3D-Inhalten, welcher die Illusion erzeugt, dass man sich in einer virtuellen Welt befindet (Cruz-Neira, Sandin & DeFanti, 1993, S. 136). Das System wurde für die Forschung sowie auch in der Industrie angewendet. VR konnte sich bis anhin trotz den potenziell möglichen Vorteilen nicht durchsetzen. Die Studien der Neunziger- und Nullerjahren zu VR in der Schule führen als Gründe für den nicht erfolgten Durchbruch die hohen Kosten und die limitierten technologischen Möglichkeiten an (Hew & Cheung, 2010, S. 42) & (Youngblut, 1998, S. 101). 2016 war laut Liu et al. (2017, S. 107) ein Meilenstein in der Entwicklung von VR. Technologie-Unternehmen entwickeln neue Hardware- und Softwarekomponenten, um VR der breiten Masse zur Verfügung zu stellen. Für eine ausführlichere Beschreibung der historischen Entwicklung wird hier auf die beiden Publikationen "Virtual und Augmented Reality (VR / AR)" von Dörner (2013, S. 19ff) und "Virtual Reality Technology" von Burdea und Coiffet (2003, S. 26) verwiesen.

2.1.3 Technische Komponenten

Technische Architektur

In diesem Kapitel werden kurz die wichtigsten Komponenten eines VR-Systems vorgestellt. Für eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise von VR-Systemen wird das Buch "Virtual Reality" von Dörner (2013) empfohlen.

Laut Dörner kann VR in die drei Teilsysteme Eingabegeräte, Ausgabegeräte und Weltsimulation unterteilt werden. In Abbildung 5 ist der Zusammenhang zwischen den einzelnen Teilsystemen dargestellt. Bei aktuell auf dem Markt verfügbaren VR-Systemen werden Controller als Eingabegerät benutzt. Diese werden, wie auch das HMD, durch optische Sensoren im Raum hinsichtlich ihrer Position überwacht (engl. tracking). Die erfassten Daten werden von einem leistungsstarken Computer berechnet und für die Ausgabegeräte aufbereitet (engl. rendering). Der Schritt der Positionierung des Benutzers in der virtuellen Welt aufgrund der Sensordaten und das anschliessende Rendering wird von Dörner (2013, S. 23) als Weltsimulation bezeichnet. Dem Bereich der Weltsimulation können die verschiedenen Softwarekomponenten zugeordnet werden. Die Ausgabe erfolgt optisch auf das HMD, akustisch aus den Lautsprechern und haptisch an die Controller.

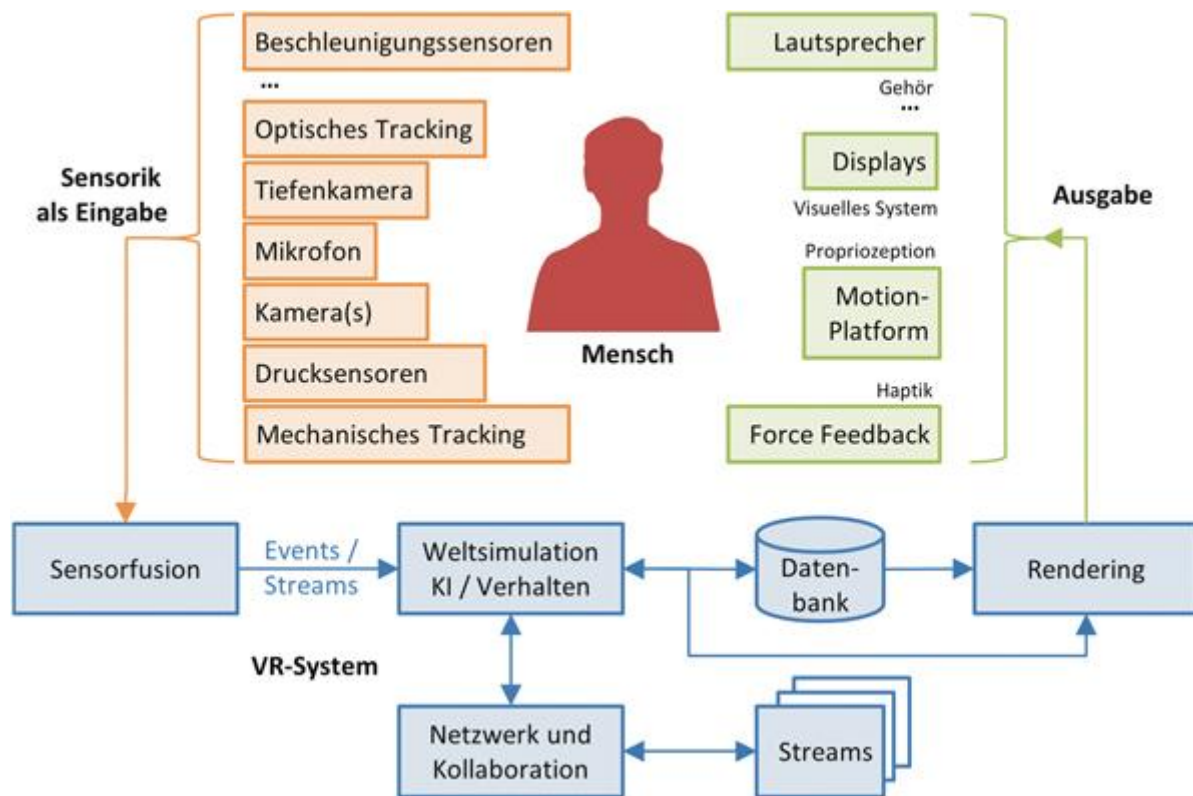


Abbildung 5: Überblick über die Teilsysteme eines VR-Systems (Dörner et al., 2013, S. 24)

2.2 Didaktik

Die Arbeit orientiert sich an den im Lehrplan 21 beschriebenen Konzepten. Aufgrund der Eigenheit von VR, mit der virtuellen Welt zu interagieren, wird neben den Erläuterungen zum Lehrplan 21 die Theorie des erfahrungsbasierten Lernens beschrieben.

2.2.1 Lehrplan 21

Der Lehrplan 21 legt die Unterrichtsziele für alle Stufen der Volksschule fest und dient den involvierten Parteien als Planungsinstrument. Neben der Beschreibung der zu erwerbenden Kompetenzen definiert und empfiehlt er mögliche didaktische Konzepte, wie Lerneinheiten aufgebaut werden sollen.

Das didaktische Konzept für die Gestaltung der im Rahmen dieser Arbeit zu erstellenden Lernumgebung, orientiert sich an den im Lehrplan 21 beschriebenen didaktischen Qualitätsmerkmalen (D-EDK, 2016, S. 27–28). Zur besseren Übersicht werden diese, beginnend mit der Abkürzung Lehrplan (LP), nummeriert.

- LP 1 Aktive Auseinandersetzung mit Gegenständen und Aufgaben, dadurch wird die Aktivierung vielfältiger rezeptiver und gestalterischer Arbeits- und Denkprozesse geübt und angeregt
- LP 2 Einbezug von Spielelementen
- LP 3 Fachliche und lebensweltliche Bedeutsamkeit der Unterrichtsinhalte und Lernaufgaben
- LP 4 Qualität von Lehrmitteln, Lern- und Wissensmedien
- LP 5 Transparenz von Zielen und Leistungserwartungen für die Lernenden im Unterricht
- LP 6 Klarheit, Verständlichkeit und Strukturierung der zu erlernenden Inhalte

- LP 7 Kognitive Aktivierung der Schülerinnen und Schüler
- LP 8 Festigung des Gelernten und intelligentes Üben
- LP 9 Feedback- und Fehlerkultur
- LP 10 Förderung von Selbststeuerung und von Lernstrategien

Eine konkrete Angabe, wie Lernumgebungen ausgestaltet werden sollen, findet sich im Lehrplan 21 (D-EDK, 2016, S. 27): "Durch ihre Ausrichtung auf die aktive Auseinandersetzung mit Gegenständen und Aufgaben, werden bei Schülerinnen und Schülern vielfältige rezeptive und gestalterische Arbeits- und Denkprozesse geübt und angeregt."

2.2.2 Erfahrungsbasiertes Lernen

Die Gestaltung der VR-Lernumgebung soll sich neben den Qualitätsmerkmalen des Lehrplan 21 an den Grundsätzen des erfahrungsbasierten Lernens (EL) orientieren. Diese sind im Lehrplan 21 zum grössten Teil repräsentiert. Folgende Leitlinien werden definiert (Andresen, Boud & Cohen, 2000, S. 1):

- EL 1 Involvierung der ganzen Person – Geist, Gefühle und Sinne
- EL 2 Berücksichtigung und aktive Nutzung der Lebenserfahrung des Schülers
- EL 3 Kontinuierliche Reflektion von früheren Erfahrungen, um diese besser zu verstehen

Die Theorie des erfahrungsbasierten Lernens gilt als Teil des Konstruktivismus und übernimmt deren Ansätze. David Kolb gilt als Vorreiter dieser Lerntheorie. Seine Publikation "Experiential Learning: Experience As The Source Of Learning And Development" ebnete den Weg, damit diese in die Klassenzimmer Einzug nahm (Staemmler, 2006, S. 45). Kolb (1984, S. 38) definiert den Begriff des Lernens in seiner Arbeit folgendermassen: "Learning is the process whereby knowledge is created through the transformation of experience." Mit folgenden sechs charakteristischen Eigenschaften lässt sich aus seiner Sicht erfahrungsbasiertes Lernen beschreiben (Kolb, 1984, S. 25f):

1. Lernen soll als Prozess und nicht in Bezug auf das Ergebnis verstanden werden
2. Lernen ist ein fortlaufender Prozess, welcher auf Erfahrungen basiert
3. Lernen erfordert die Lösung von Konflikten zwischen den dialektisch aufeinander bezogenen Modi zur Adaptation an die Welt
4. Lernen ist ein gesamtheitlicher Prozess der Adaption an die soziale und physische Umwelt
5. Lernen beinhaltet Transaktionen zwischen der Person und ihrer Umwelt
6. Lernen ist ein Prozess der Wissenskonstruktion

Der in Abbildung 6 dargestellte Prozess des erfahrungsbasierten Lernens umfasst die vier adaptiven Lernmodi sowie die Prozesse der Aufnahme und der Transformation von Information. Die Schüler machen konkrete Erfahrungen und beobachten die Konsequenz. Anschliessend reflektieren sie die Erfahrung und deren Interpretation. Die Reflexion bildet die Grundlage zur Generalisierung und Erweiterung der Wissensstrukturen. Durch aktives Experimentieren wird das zuvor abstrahierte Wissen transferiert und im realen Kontext angewendet. Der Zyklus wird iterativ durchlaufen, dabei kann jede Station als Ausgangspunkt dienen.

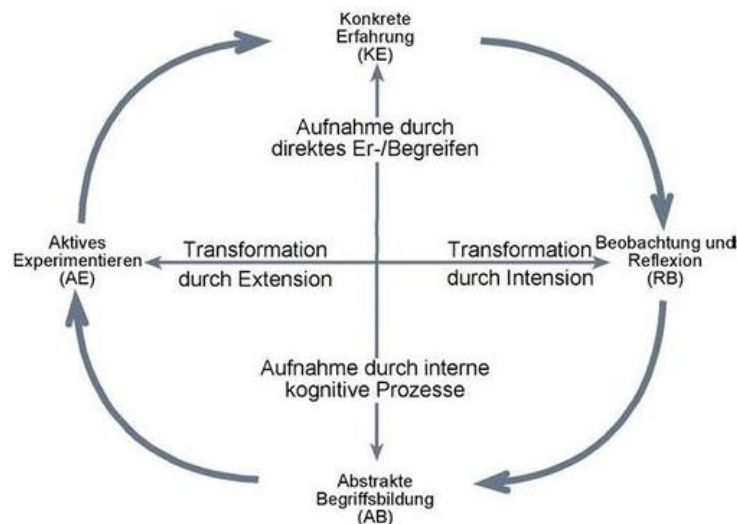


Abbildung 6: Lernzyklus des erfahrungsbasierten Lernen in Anlehnung an Kolb (1984, S. 45)

Für Remo Largo (2013, S. 20) bedeutet nachhaltiges Lernen, dass die Schüler durch eigenständige Erfahrungen neues Wissen und Fähigkeiten mit vorhandenem Wissen und vorhandenen Fähigkeiten zusammenführen. Ein echtes Verständnis entwickelt sich und bleibt langfristig erhalten, wenn die neuen Kenntnisse mit den bereits bestehenden durch Erfahrung vernetzt werden. Dies setzt voraus, dass die Transformation nicht durch mechanisches Üben, sondern durch das Kind selbstbestimmt und aktiv geschieht.

2.3 Virtual Reality in der Schule

VR in der Schule einzusetzen ist, wie im Kapitel 1.5.1 erwähnt, keine Idee der jüngeren Zeit. Bereits seit den 1990er Jahren wird das Thema, vor allem im angelsächsischen Raum, erforscht. Seinen Ursprung hat das Forschungsgebiet im Bereich der Flugsimulation.

In diesem Kapitel wird in einem ersten Schritt der aktuelle Stand der Forschung erläutert. Danach werden Konzepte und Modelle aufgezeigt, welche zur Gestaltung und Evaluation von VR-Lernumgebungen angewendet werden können.

2.3.1 Erwarteter Nutzen

Verschiedene Autoren analysieren seit den Neunzigerjahren die Möglichkeiten von VR und leiten daraus Nutzenpotenziale für die Ausbildung ab. Im Folgenden wird eine Auswahl von relevanten Publikationen vorgestellt und kurz zusammengefasst.

Den Einsatz von VR in der Schule rechtfertigt Wickens (1992, S. 842) mit vier Faktoren. Als erster Punkt nennt er die Möglichkeit, dass dank der Interaktion mit der Lernumgebung eine höhere intrinsische Motivation erzielt werden kann. Zweitens soll die Darstellung von realen Lernsituationen eine Verbesserung des Wissenstransfers erlauben. Der dritte Punkt ist die Eigenschaft, verschiedene Perspektiven einzunehmen und so bestimmte Szenarien kontextbedingt zu entdecken. Als vierter Faktor nennt er die Chance, auf natürliche Art und Weise mit der Welt zu interagieren.

Winn (1993) argumentiert in seiner Arbeit, dass die Grundsätze der konstruktivistischen Lerntheorien und die Charakteristiken von VR miteinander kompatibel sind. Der Schlüssel dieser Kompatibilität sieht er in der Immersion, im speziellen in der Möglichkeit von VR, Erfahrungen aus der Ich-Perspektive zu sammeln. Dede, Salzmann und weitere (1999, S. 284) nennen zusätzlich zu der Im-

mersion vier Faktoren von VR, welche eine hohe Kompatibilität mit konstruktivistische Lernmethoden aufweisen. Die dreidimensionale Darstellung von Inhalten in verschiedenen Bezugsrahmen fördert das vertiefte Lernen, in dem es verschiedene, komplementäre Perspektiven auf ein Thema ermöglicht. Die Endgeräte von VR ermöglichen eine Interaktion, welche die multisensorischen Reize der Benutzer anspricht. Dies fördert das vertiefte Lernen und unterstützt die Wissenssicherung. Des Weiteren erhöhen gut ausgestaltete immersive Welten die Motivation, was dazu führt, dass den einzelnen Aufgaben in der VR mehr Zeit und Konzentration alloziert werden. Als letzter Punkt wird die Möglichkeit der Telepräsenz erläutert, welche gemeinsame ortsunabhängige Erlebnisse erlaubt.

Dede (S. 66) publizierte im Jahr 2009 eine viel beachtete Arbeit zum Thema Immersion, in der er drei Wege aufzeigt, wie diese die Ausbildung verbessern kann. Die Studie überschneidet sich zu grossen Teilen mit den oben beschriebenen Erkenntnissen von Wickens und Winn. Als erstes nennt er die Chance, sowohl die egozentrische-, wie auch die exozentrische Perspektive einzunehmen und so komplexe Phänomene besser darzustellen (enabling multiple perspectives). Während er die exozentrische Betrachtung für abstrakte und symbolische Erkenntnisse als geeignet ansieht, soll die egozentrische Perspektive durch die Interaktion in authentischen Szenarien die Motivation der Lernenden steigern. Als zweiter Grund nennt er die Möglichkeit, die lernende Person in eine gewisse Situation zu versetzen (situated learning). Das situierte Lernen kann laut Dede das Engagement und die schulischen Leistungen verbessern. Die dritte Möglichkeit ist, dass durch die Darstellung von realen Situationen der Wissenstransfer für die Lernenden vereinfacht wird (transfer).

In Tabelle 1 sind die Erkenntnisse hinsichtlich des Nutzens von VR für die Ausbildung in Abhängigkeit zu den Funktionen von VR vereinfacht zusammengefasst. Die Aussagen der Autoren überschneiden sich an verschiedenen Stellen. Ausserdem stellt man bei der Analyse fest, dass Funktionen und Nutzen oftmals vermischt dargestellt werden und die Abgrenzung der Immersion zu den anderen Möglichkeiten von VR keinem klaren Muster folgt.

Tabelle 1: Vereinfachte Darstellung des Nutzens von VR in der Schule

Nutzen für die Ausbildung						
VR Funktionen		Motivation / Engagement	Wissenstransfer	vertieftes Lernen	Wissenssicherung	gemeinsames / ortsunabhängiges Lernen
	Immersion	X	X	X	X	
	Interaktion	X	X		X	
	Mehrere Perspektiven			X	X	
	3D-Darstellung	X	X	X	X	
	Telepräsenz					X

2.3.2 Anwendungsbereiche

Trotz den interessanten Eigenschaften von VR im Kontext der Bildung, sollten die Anwendungsbereiche gezielt ausgewählt werden. Für eine vollständige Auflistung, unter welchen Voraussetzungen der Einsatz von VR sinnvoll ist, wird auf die Publikation "Reasons to Use Virtual Reality in Education and Training Courses and a Model to Determine When to Use Virtual Reality" von Pantelidis (2009, S. 64) verwiesen. Herausheben lässt sich, dass VR immer dann eingesetzt werden kann, wenn ein Sachverhalt in der realen Welt nur schwer darstellbar ist und eine Simulation dem besseren Verständnis dient.

Merchant et al. (2014, S. 34) untersuchten im Rahmen ihrer Meta-Studie 25 Arbeiten zum Thema VR für den primären und sekundären Bildungsbereich (K-12). Über 50% der Erhebungen sind dem Fachgebiet der Naturwissenschaften und der Mathematik zuzuordnen. Eine Erklärung für diesen Fokus liefert Winn (1993): Dieser hebt die Möglichkeit hervor, dass in der virtuellen Welt beliebige Grössenvergleiche möglich sind. So können sich die Lernenden zum Beispiel in einem Atom bewegen und die Elektronen in den Orbitalen ersetzen oder intergalaktische Ausflüge ins Weltall unternehmen. Laut Salzman et al. (1999, S. 316) hat VR das Potenzial, den modellbasierten Naturwissenschaftsunterricht zu ergänzen.

2.3.3 Forschungsergebnisse zum Nutzen von VR in der Schule

Ob der durch VR erhoffte Nutzen für die Ausbildung erzielt werden kann, wird seit den Anfängen dieses Forschungsbereichs untersucht. Im Folgenden werden dazu die Resultate aus verschiedenen Meta-Studien präsentiert.

Die Meta-Studie von Youngblut (1998) umfasst die Analyse von 20 VR-Lerneinheiten. Die Evaluation der Ergebnisse erfolgte aufgeteilt in die Kategorien der Effektivität und der Benutzerfreundlichkeit. Trotz positiven Resultaten sind die Ergebnisse aus zwei Gründen heute nicht mehr als relevant anzusehen: Erstens untersuchte Youngblut unter dem Begriff VR auch Studien, die mit virtuellen Desktopumgebungen durchgeführt wurden und zweitens waren voll-immersive Systeme zu diesem Zeitpunkt technologisch nicht ausgereift.

Die Arbeit von Mikropoulos et al. (2011) untersucht 53 wissenschaftliche Arbeiten zum Thema VR in der Bildung, welche zwischen 1999-2009 veröffentlicht wurden. Von den 53 Studien wurde bei 16 eine voll-immersive Lösung mit HMD eingesetzt. Bei den restlichen kam eine desktop-basierte Lösung zum Einsatz. Eine Erkenntnis dieser Arbeit ist, dass die Kombination von technologischen Eigenschaften von VR und die individuellen Voraussetzungen und Bedürfnisse der lernenden Person in Relation zum Lernerfolg gesetzt werden müssen. Weiter wurde festgestellt, dass die Schüler und Lehrer die neue Technologie mit einer positiven Einstellung annehmen. Eine Aussage darüber, ob das Wissen den Lernenden mit VR länger erhalten bleibt, konnte nicht getroffen werden. Eine wichtige Konklusion der Arbeit ist, dass jede virtuelle Lernumgebung auf die didaktischen Ziele des Anwendungsgebietes ausgerichtet sein muss.

Die Meta-Studie von Merchant et al. (2014) untersucht die Effektivität von desktopbasierten VR-Anwendungen in den Bereichen Spiele, Simulationen und virtuellen Welten für die Ausbildung auf der primären und sekundären Schulstufe. Dazu analysierten die Autoren insgesamt 67 Arbeiten. Da die Studien auf desktopbasierten VR-Anwendungen gründen, ist nur bedingt eine Aussage möglich, inwiefern die Resultate auch für voll-immersive VR-Anwendungen zutreffen. In der Arbeit konnte aufgezeigt werden, dass die Vermittlung von Wissen über spielerische Komponenten eine wesentlich höhere Effektivität als die anderen beiden Arten der Wissensvermittlung aufweist. Die Resultate von Wissensüberprüfung der Schüler kurz nach der Anwendung eines VR-Spiels und zu einem späteren Zeitpunkt, waren auf dem gleichen Niveau. Dies ist laut den Autoren ein Indiz dafür, dass Wissen durch den Einsatz dieser Technologie lange erhalten bleibt. Ob dieses Wissen von den Schülern besser auf andere Situationen transferiert werden kann, wurde in der Studie nicht untersucht. Eine weitere Erkenntnis ist, dass die Schüler in kollaborativen Lernumgebungen weniger gut lernen als in nicht-kollaborativen. Die Autoren konnten beweisen, dass von der Neuartigkeit der Technologie ein positiver Effekt ausgeht und die Leistungen der Schüler bei mehrmaliger Anwendung sinken.

Die Herausforderungen, welche für einen erfolgreichen Einsatz von VR im Ausbildungsbereich gelöst werden sollten, fassen Liu et al. (2017, S. 123) in Tabelle 2 zusammen.

Tabelle 2: Herausforderungen von VR im Ausbildungsbereich (Liu et al., 2017, S. 123)

Kategorie	Herausforderung
Technologie	Die Kosten der VR-Hardware müssen sinken und die Portabilität muss sich verbessern.
	Die Umweltsimulationen müssen verbessert werden, um den Grad der Immersion zu erhöhen.
	Die Interaktion zwischen Mensch und Computer muss natürlicher werden.
VR Lerneinheit	Adäquate, von Pädagogen geprüfte Lerneinheiten müssen erstellt werden.
	Kognitive Überforderung der Lernenden soll vermieden werden.
	Die Überwachung und Evaluation der Lerneffekte muss vertieft erforscht werden.
Erlebnis des Lernenden	Die Technologie muss für den Einsatz einfach verwendbar werden.
	Eine VR-Identität (Avatar), welche in den Umgebungen verwendet werden kann, soll aufgebaut werden.
	Der Schutz der Persönlichkeit und der Benutzerdaten soll sichergestellt werden.
Integration	VR-Lernumgebungen müssen einfach in die existierenden Lernumgebungen integriert werden können.

2.3.4 Modelle

In diesem Kapitel werden zwei Modelle erläutert, welche bei der Entwicklung von VR-Lernumgebungen verwendet werden können.

Einflussfaktoren von VR-Lernumgebungen

Salzman et al. (1999) erstellten ein Modell mit verschiedenen Faktoren, welche bei der Entwicklung von VR-Inhalten für die Bildung beachtet werden müssen. Die in Abbildung 7 dargestellte Übersicht erläutert den Zusammenhang zwischen den speziellen Eigenschaften von VR (VR's Features), den Charakteristiken des Lernenden und dem Lernen. Die Kernerkenntnis aus der Forschung ist, dass die Teilbereiche nicht einzeln, sondern als Ganzes betrachtet werden müssen (Salzman et al., 1999, S. 312). Das Modell wird in der vorliegenden Arbeit verwendet, um einen holistischen Blick auf die Ausgestaltung der Lernumgebung einzunehmen und die verschiedenen Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

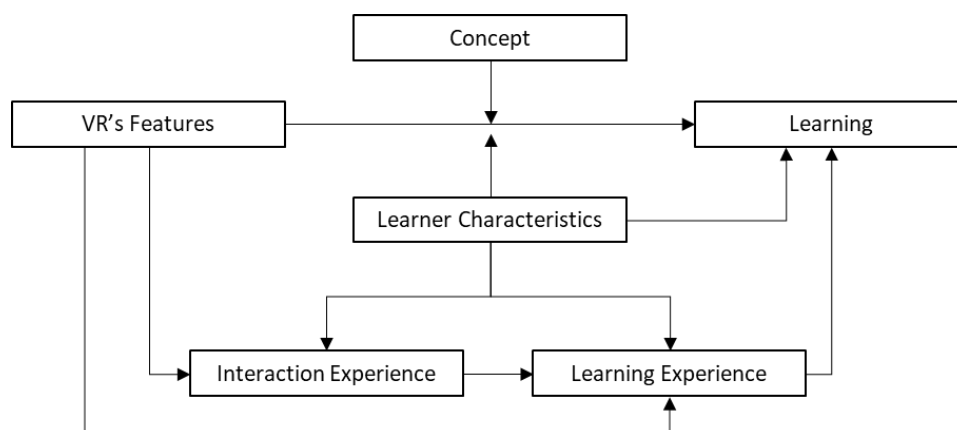


Abbildung 7: VR-Lernumgebung (Salzman et al., 1999, S. 295)

VR und erfahrungsbasiertes Lernen

Durch den Einsatz von VR-Lernumgebungen erhöht sich die Autonomie des Lernenden. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, erweitern De Freitas und Neumann (2009, S. 346) das in Kapitel 2.2.2 beschriebene Modell des erfahrungsbasierten Lernens nach Kolb. Die Ziele des in Abbildung 8 dargestellten Modells sind, dem Lernenden mehr Kontrolle zu geben und attraktivere Lernerlebnisse zu gestalten. Der Lernmodus der Erfahrung wird mit den Erfahrungen aus der virtuellen Welt ergänzt. Zusätzlich wird der Modus der Erforschung mit in den Zyklus aufgenommen. Die individuelle Erforschung der Lernumgebung spielt in VR eine wichtige Rolle: Der Lernende kann in der VR selbst steuern, was er entdecken möchte und wann. Damit die Motivation und das Interesse der Benutzer hoch bleiben, sollen Lernumgebungen anhand der Kriterien der Flow-Theorie nach Csikszentmihalyi (2002, S. 61) aufgebaut werden. Klare Ziele, unmittelbares Feedback, die Kontrolle des Lernenden und fordernde Aufgaben, welche dem Kenntnisstand des Lernenden entsprechen, werden dabei als wichtige Faktoren genannt. Für den Lernmodus der Reflektion ist es wichtig, die gemachten Erfahrungen aus verschiedenen Blickwinkeln zu reflektieren. Nur so kann laut den Autoren ein effektiver Transfer der Erkenntnisse zwischen der virtuellen und realen Welt stattfinden. Die Bildung von abstrakten Konzepten und das Testen kann sowohl innerhalb, wie auch ausserhalb der Lernumgebung geschehen.

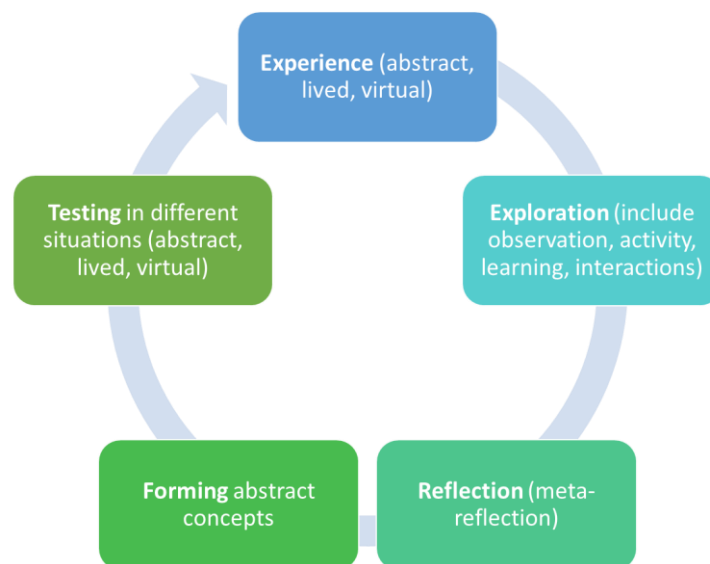


Abbildung 8: Exploratory Learning Model (de Freitas & Neumann, 2009, S. 346)

2.4 Weitere Literatur

Im Verlauf der Arbeit wird weitere Literatur aus den Bereichen der Gestaltung und der technischen Umsetzung sowie der Evaluation der Lektion hinzugezogen. Diese wird aufgrund der besseren Lesbarkeit in den jeweiligen Kapiteln als Theorieteil erläutert.

Für die Ausgestaltung des Inhalts der Lektion werden Material aus dem Internet sowie wissenschaftliche Arbeiten zu dem Thema verwendet.

3 Methodik

Im folgenden Kapitel wird das Forschungsdesign erläutert. Zuerst wird die Forschungsmethode gefolgt von den Artefakten dargelegt. Das Projektvorgehen beschreibt grob die Arbeitspakete und die zu erreichenden Meilensteine.

3.1 Forschungsmethode

Die Forschung wird anhand des Frameworks nach Hevner et al. (2004) aufgebaut (Abbildung 9). Dieses kombiniert Methoden aus dem Bereich der gestaltungsorientierten und verhaltensorientierten Forschung. Das Modell basiert auf einem iterativen Ansatz zur Erstellung, Überprüfung und Verbesserung eines IT-Artefakts. Sowohl die Rigorosität wie auch die Relevanz nehmen einen bedeutenden Stellenwert ein.

Für das Forschungsdesign wurde das Modell auf die Bestandteile und Einflussfaktoren dieser Arbeit adaptiert. Ziel ist die Konzeptionierung eines Prototyps für eine Unterrichtseinheit. Dabei handelt es sich um einen iterativen Prozess. Im Verlaufe der Arbeit soll der Prototyp überprüft und – wenn zeitlich möglich – verbessert werden. Die Überprüfung erfolgt aufgrund von Rückmeldungen der Schüler, welche mittels einer quantitativen Umfrage erhoben werden. Die Relevanz setzt sich aus verschiedenen Umweltfaktoren aus den Bereichen Bildung und Technologie zusammen. Auf Seiten der Rigorosität fliesst bestehendes Wissen aus der Wissenschaft in die Arbeit mit ein. Für die Konzeption und die Entwicklung des Prototyps werden verschiedene Modelle beigezogen. Die aus der Forschung gewonnen Erkenntnisse fliessen in die Praxis und Wissenschaft zurück.

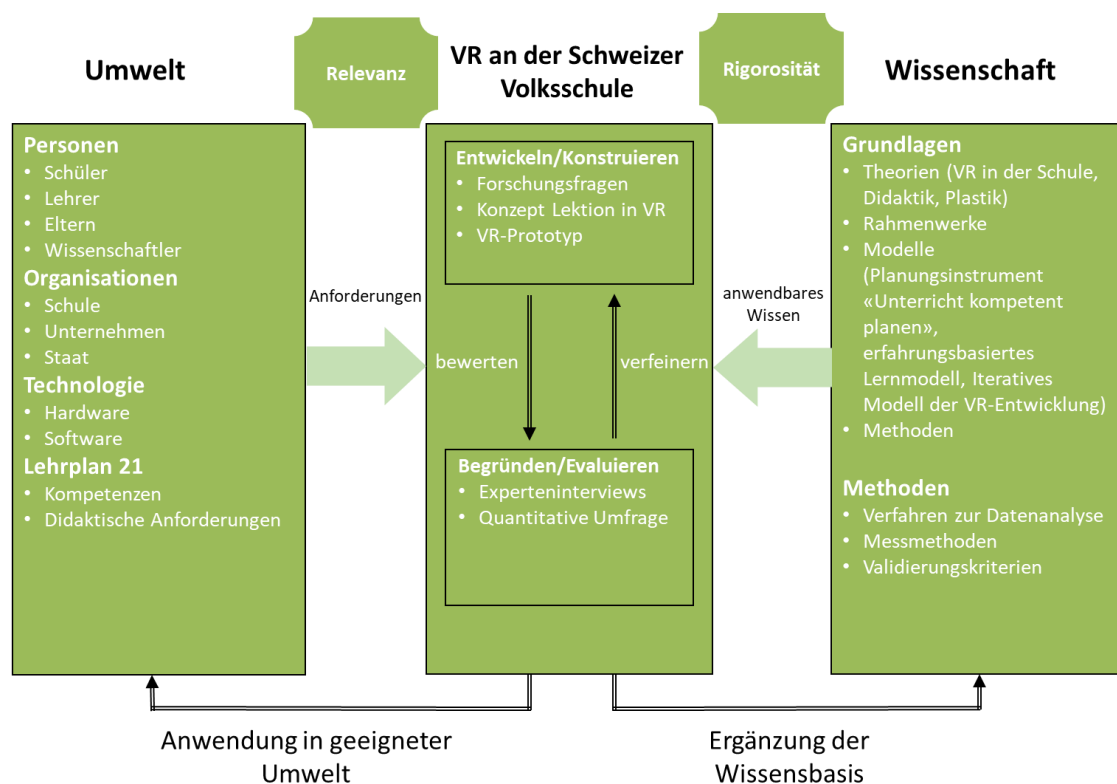


Abbildung 9: Forschungs-Framework für VR an der Schweizer Volksschule in Anlehnung an Hevner et al. (2004).

3.1.1 Literaturrecherche

Im Rahmen der Literaturanalyse werden die Grundlagen für die untersuchten Themengebiete erarbeitet. Das Ziel ist, über die Beschreibung der Didaktik und der Technologie den aktuellen Stand des Wissens für VR in der Schule darzulegen. Für die Literaturrecherche werden die verfügbaren Medien der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften verwendet.

3.1.2 Experteninterviews

Zur Validierung der Vision für die erstellte Lerneinheit werden vier qualitative Interviews mit Lehrpersonen durchgeführt. In den Gesprächen wird das Konzept der Lerneinheit vorgestellt und hinsichtlich der pädagogischen Kompatibilität überprüft. Des Weiteren werden die im Rahmen der Vision ausgearbeiteten VR-Anwendungsfälle bezüglich ihrer Umsetzbarkeit evaluiert. Der Aufbau des Interviewleitfadens orientiert sich an den Grundlagen der qualitativen Forschung (Bogner, Littig & Menz, 2014, S. 27).

Die Resultate der Interviews sind nicht theoriebildend, sondern dienen lediglich der Überprüfung und Bewertung des Konzepts aus praktischer Sicht.

3.1.3 Quantitative Umfrage

Das Ziel der Untersuchung ist eine Beurteilung der VR-Lernumgebung durch die Schülerschaft. Dazu wird die Lösung von Schülern der Sekundarschule Meilen getestet. Anschliessend füllen die Probanden einen Fragebogen aus, mit welchem die Daten zur Beurteilung erhoben werden. Die Befragung hat aufgrund der kleinen Stichprobe und der Tatsache, dass die Schüler zum ersten Mal in der VR lernen, keine wissenschaftliche Relevanz. Die Resultate können jedoch Indizien für weitere Forschungsarbeiten in diesem Bereich geben.

Der Fragebogen orientiert sich an den im Kapitel 2.3.1 erläuterten Nutzenkategorien und wird mit Fragen zum Lerninhalt ergänzt. Um dem Alter der Schüler gerecht zu werden, soll der Aufbau möglichst einfach gehalten werden. Es kommen drei Fragetypen zum Einsatz: Dropdown-Auswahllisten, Zahlen- und Textfelder sowie Fragen mit einer linearen Skala von 1-5.

In Abbildung 10 sind die verschiedenen Fragenkategorien aufgeführt. Innerhalb der persönlichen Fragen geht es darum, die Erfahrungen des Teilnehmenden mit VR oder Videospielen abzufragen. Im Bereich der Immersion wird überprüft, wie real sich die Umgebung für die Probanden anfühlt und welchen Einfluss dies auf die Konzentration hat. Die Kategorie der Interaktion besteht aus zwei Teilen: Zum einen wird das Bedürfnis nach sozialer Interaktion in der VR abgefragt, zum anderen soll überprüft werden, ob sich die technische Interaktion mit dem System real angefühlt hat. Ob die Schüler die vermittelten Inhalte wahrgenommen haben, wird mit Fragen zum Lerninhalt verifiziert. Zuletzt werden Fragen zur Motivation und zum Interesse, weiterhin mit VR zu arbeiten, gestellt. Die einzelnen Fragen orientieren sich an der Studie von Huang et al. (2010, S. 7), welcher die Einstellung der Lernenden zu VR überprüft hat. Der komplette Fragebogen ist in Anhang A aufgeführt. Dort ist ebenfalls die Zuweisung der einzelnen Fragen zu den Kategorien ersichtlich.

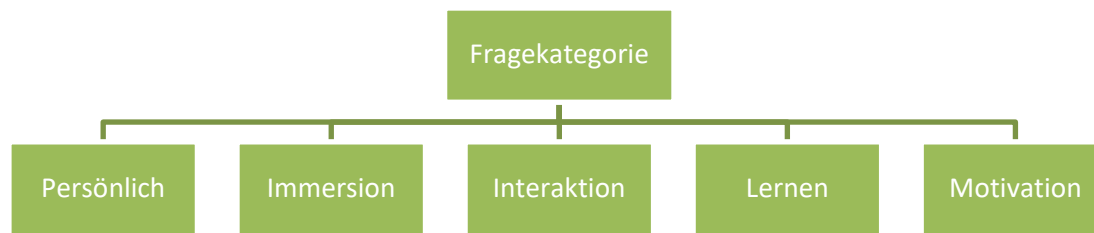


Abbildung 10: Fragekategorien der quantitativen Umfrage

3.2 Artefakte

Aufgrund der Erkenntnisse dieser Arbeit wird ein Vorgehensmodell für die Auswahl, Konzeption, Entwicklung und Evaluation einer VR-Lernumgebung im Rahmen des Lehrplans 21 erstellt. Dieses Artefakt soll den Aufbau von weiteren Applikationen vereinheitlichen und vereinfachen. Der Prototyp, als zweites Artefakt, dient der Überprüfung der Effekte von VR auf die Entwicklung der Schüler. Beides sind wichtige Erzeugnisse dieser Arbeit und sollen die weitere Forschung auf diesem Themengebiet unterstützen.

3.3 Projektvorgehen

Das Vorgehen ist sequenziell aufgebaut. Bei einem schnelleren Abschluss der ersten Entwicklungs- und Evaluationsphase kann aufgrund der Erkenntnisse aus der Evaluation eine weitere Entwicklungsiteration erfolgen.

Das Forschungsprojekt ist in fünf Arbeitspakete unterteilt:

1. Vorstudie

In der Vorstudie werden die Grundlagen für die Masterthesis erarbeitet. So werden die Ziele, die Forschungsfragen, das Forschungsdesign und das Forschungsvorgehen festgelegt und eine Literaturliste erstellt. Zusätzlich wird eine Vision für die Lektion erarbeitet und es werden mögliche Einsatzbereiche von VR im Schulunterricht ergründet.

2. Konzeptionsphase

Die während der Vorstudie erstellte Vision für die VR-Lektion wird gemeinsam mit pädagogisch qualifizierten Fachpersonen verifiziert und aufgrund der Rückmeldungen verbessert. Ein aus der Lerneinheit ausgewählter Lernblock wird in der Detailkonzeptionsphase so spezifiziert, dass damit ein Prototyp entwickelt werden kann.

3. Entwicklungsphase

Nachdem das Konzept mit der Lehrperson verifiziert wurde, kann mit der Entwicklung begonnen werden.

4. Evaluation

Der Prototyp wird mit einer Gruppe von Schülern evaluiert. Nach dem Testdurchlauf werden die Schüler dazu befragt. Die erhobenen Daten werden ausgewertet und Erkenntnisse daraus dokumentiert.

5. Dokumentation

Die Erkenntnisse aus der Forschung werden während des gesamten Projekts laufend dokumentiert.

4 Resultate

Dieses Kapitel erläutert die Ergebnisse der Forschungsarbeit. In einem ersten Schritt wird die Vision für die Lektion mit verschiedenen VR-Anwendungsfällen präsentiert. Danach folgt die Detailkonzeption der VR-Lernumgebung für den ausgewählten Anwendungsfall. Der Prototyp als Ergebnis der Entwicklung wird im dritten Kapitel vorgestellt. Es folgen die Umfrageresultate und im letzten Unterkapitel das Vorgehensmodell zum Aufbau einer VR-Lernumgebung.

4.1 Vision

Die Lerneinheit soll auf einen Kompetenzbereich des Lehrplans 21 aufbauen. Während der Vorstudie wurde das Thema "Plastik (Kunststoffe) und seine Auswirkungen auf die Umwelt" ausgewählt. Dieses passt in die Kompetenz Naturwissenschaften und Technik (NT) 3.3 "Die Schülerinnen und Schüler können Stoffe als globale Ressource erkennen und nachhaltig damit umgehen" und unterstützt die Anforderungen des neuen, fächerübergreifenden Bereichs "Bildung für nachhaltige Entwicklung". Ausserdem deckt es sich mit den in Kapitel 2.3.2 beschriebenen Anwendungsbereichen.

Die Autoren der in Kapitel 2.3.3 vorgestellten Studien sind sich darin einig, dass VR-Lernumgebungen aus einer pädagogischen Perspektive konzipiert werden sollen. Auf dieser Erkenntnis baut das folgende Kapitel auf. In einem ersten Schritt wird eine Lerneinheit, bestehend aus verschiedenen Lernblöcken, entwickelt. Zu den einzelnen Lernblöcken werden, unabhängig von der technischen Machbarkeit, mögliche VR-Anwendungsfälle erarbeitet. VR soll dann angewendet werden, wenn durch dessen Einsatz ein effektiver Mehrwert gegenüber herkömmlichen Unterrichtsformen entsteht.

Aufgrund der Ergebnisse aus der Evaluation der Lerneinheit mit vier Lehrpersonen wurde die Vision mehrfach überarbeitet. Die Erkenntnisse sind aufgrund der geringen Anzahl Feedbacks nicht als wissenschaftlich relevant zu bezeichnen, sie dienen vielmehr der Verbesserung des Konzepts aus praktischer Perspektive. Die Befragung orientiert sich an dem in Anhang B aufgeführten Interviewleitfaden. Detaillierte Verbesserungsvorschläge und die Kritik sind in Anhang D aufgeführt und die Audioaufzeichnungen der Gespräche liegen der Arbeit bei.

Zur Gewährleistung der Rigorosität wird in den folgenden Kapiteln die initiale Version, welche vor dem Interview erstellt wurde, der nach den Gesprächen überarbeiteten Version gegenübergestellt.

4.1.1 Lerneinheit

Die vorgesehene Lerneinheit setzt sich aus fünf einzelnen Blöcken zusammen. Die Inhalte der Lernblöcke orientieren sich an den im Lehrplan 21 definierten Teilkompetenzen (D-EDK, 2016, S. 320) zu NT 3.3. Anhand des Rasters zur Unterrichtsplanung der Pädagogischen Hochschule Zürich (Zumsteg, 2017) erfolgt die Strukturierung der Lerneinheit. In dieser Phase der Vision werden die Lernblöcke grob ausgestaltet. In Abbildung 11 wird die initial erstellte Lerneinheit und in Abbildung 12 die überarbeitete Lerneinheit dargestellt.

Lernziele

Initiale Version

Für die Lerneinheit werden vier Ziele definiert, die sich aus der Kompetenz NT 3.3 ableiten.

Überarbeitete Version

Die ursprüngliche Idee, vier Lernziele für die gesamte Unterrichtseinheit zu definieren, wurde von den Lehrpersonen als zu wenig spezifisch bewertet. In einer zweiten Iteration wurden diese detailliert für jeden der einzelnen Lernblöcke festgelegt. Die Ableitung der Ziele orientiert sich an den sechs Taxonomiestufen nach Bloom, Engelhart, & Fünier (1976, S. 200). Diese ermöglichen eine logische und hierarchische Gliederung der Lernziele.

Lernblock

Initiale Version

In diesem Bereich wird eine Kurzbeschreibung der Lernblöcke dargestellt.

Überarbeitete Version

Es wurde in der Evaluation angemerkt, dass nicht klar ist, ob die Lernblöcke sequenziell oder auch parallel unterrichtet werden können. Für die Vermittlung des Wissens macht ein aufbauender Prozess Sinn. Um dies darzustellen, wurden die Lernblöcke mit Pfeilen verbunden.

Lehrplan 21

Initiale Version

In der initialen Version ist die Verknüpfung zum Lehrplan 21 nicht vorhanden.

Überarbeitete Version

Die Verbindung der einzelnen Lernblöcke zu der Kompetenz im Lehrplan 21 wurde aufgrund der Rückmeldungen der Lehrpersonen in die Darstellung integriert. Neben dem Bereich NT3.3 sollen in dieser Unterrichtseinheit auch Kompetenzen im Bereich NT2.2, die Zusammensetzung der Stoffe, aufgebaut werden. Des Weiteren sollen für das Gebiet "Medien und Informatik" Anwendungskompetenzen erlangt werden. Diese könnten beispielsweise während der Wissenssicherung erworben werden, indem die Schüler ein Poster oder Video erstellen. Bei den letzten beiden Lernblöcken spielt die überfachliche Kompetenz "Bildung für nachhaltige Entwicklung" eine wichtige Rolle. Diese ist im Lehrplan 21 zentral verankert und wird über verschiedene Kompetenzen aufgebaut.

Lerninhalte

Initiale Version

In dieser Rubrik werden die Lerninhalte grob erläutert. Die Inhalte wurden von den geforderten Kompetenzen durch den Autor aus dem Lehrplan 21 abgeleitet.

Überarbeitete Version

Aufgrund einer Rückmeldung aus den Gesprächen wurde überprüft, inwiefern das Züricher Lehrmittel Chemie (Streiff, 2000, S. 63ff) für den inhaltlichen Aufbau verwendet werden kann. Es wurde festgestellt, dass das Lehrmittel den inhaltlichen Aufbau der Lernblöcke "Aufbau / Herstellungsprozess", "Anwendungen" und "Kunststoffkreislauf / Recycling" abdeckt. Für die Ausgestaltung der beiden Lernblöcke "Umweltprobleme" sowie "Lösungen und Visionen", kann auf verschiedene Webquellen zurückgegriffen werden. Die Plattform "Umwelt im Unterricht" des Deutschen Bundes-

ministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU, 2018) und die Bildungsmappe der Agrar Koordination (Schulz, 2013) sind hier als Hauptdokumente zu erwähnen.

Wissenssicherung

Initiale Version

In der initialen Version ist die Wissenssicherung nicht vorhanden.

Überarbeitete Version

Die Mehrheit der befragten Lehrpersonen empfiehlt, die Art der Wissenssicherung auszuweisen. In diesem Bereich wird grob definiert, wie das Wissen der Schüler gesichert werden kann.

VR-Anwendungsfälle

Initiale Version

Zu jedem der Lernblöcke wurden Ideen ausgearbeitet, wie VR den Unterricht sinnvoll unterstützen könnte. Die Vorschläge werden in Anhang C näher erläutert.

Überarbeitete Version

Es wurden keine Anpassungen der einzelnen Anwendungsfälle vorgenommen, die Kritik der Fachpersonen aber in die Bewertung aufgenommen.

Eignung für Virtual Reality

In dieser Rubrik wird eingeschätzt, ob sich der Einsatz von VR für diesen Lernblock eignet. Die Bewertung der initialen und überarbeiteten Version ist in Kapitel 4.1.3 beschrieben.

Lernziele

Die Schüler verstehen den Aufbau und den Herstellungsprozess von Kunststoffen.

Die Schüler erhalten ein Gefühl, wie stark Kunststoffe im Alltag verankert sind.

Die Schüler haben die durch Plastik entstandenen Umweltprobleme verstanden.

Die Schüler kennen Möglichkeiten, ihren Plastikverbrauch zu senken.

Lernblöcke

Lernblock	Aufbau / Herstellungsprozess	Anwendungen	Kunststoffkreislauf / Recycling	Umweltprobleme	Lösungen und Visionen für Plastikrecycling und Umweltprobleme
Lerninhalte	<p>Vom Rohöl zum fertigen Kunststoffprodukt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aus welchen Rohstoffen besteht Plastik? • Mit welchen Mitteln / Maschinen wird Plastik hergestellt? • Die Transportwege der verschiedenen Rohstoffe, welche für den Herstellungsprozess benötigt werden. 	<p>Wo wird Plastik im Alltag verwendet? In welchen Produkten wird es eingesetzt?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eine Übersicht der Plastikprodukte. • Wie würde eine Welt ohne Plastik aussehen? 	<ul style="list-style-type: none"> • Welche Kunststoffe werden recycelt? • Wie funktioniert der Recyclingprozess? • Welche Produkte entstehen nach dem Recycling? • Was kann und was kann nicht recycelt werden? 	<p>Welchen Einfluss hat die Verwendung von Plastik auf die Umwelt?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie und wo entstehen die Umweltprobleme? • Welche Auswirkung hat Plastik auf die Umwelt? • Was ist Mikroplastik? 	<p>Den Schülern werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie ein nachhaltiger Umgang mit Plastik erreicht werden kann:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recycling • Vermeidung von Plastik (Trinkflasche, Einkaufssack beim Einkaufen, hochwertige Produkte kaufen – weg vom Einweg-Plastik) • Die Umwelt von Plastik befreien.
VR-Anwendungsfälle	<p>1 Die Transformation der einzelnen Rohstoffe von Plastik zum fertigen Produkt.</p> <p>2 Die langen Transportwege der Rohstoffe aus aller Welt bis zum Endprodukt im Einkaufsgeschäft.</p>	<p>3 Eine Welt ohne Plastik – Wie würde mein Leben ohne Plastik aussehen?</p>	<p>4 Recyclingprozess – Bsp. Trinkflasche wird in Einzelkomponenten zerlegt und zum Turnschuh verarbeitet.</p>	<p>5 Schüler befinden sich an einem mit Plastikmüll verschmutzten Ort und sehen den vollen Umfang des Problems.</p> <p>6 Problem Mikroplastik: Was ist Mikroplastik? Grössenvergleich anhand von Lebewesen in Schweizer Gewässern.</p>	<p>7 Spiel: Was ist mein Beitrag zur Verminderung des Plastikkonsums?</p>
Eignung für Virtual Reality	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★☆☆

Abbildung 11: Vision einer VR-Lerneinheit zum Thema Kunststoff, initiale Version (1 Stern = sehr geringe Eignung, 3 Sterne = mittlere Eignung, 5 Sterne = sehr hohe Eignung)

Lernblöcke

Lernblock	Aufbau / Herstellungsprozess	Anwendungen	Kunststoffkreislauf / Recycling	Umweltprobleme	Lösungen und Visionen
Lehrplan 21	NT.3.3 a	NT.3.3 a / NT.2.2 a	NT.3.3 b&d / NT.2.2 a	NT.3.3 c / BNE / MI	NT.3.3 d / BNE / MI
Lernziele (nach Taxonomie-stufen von BLOOM)	K2: Die Schüler können den Produktionsprozess von Plastik beschreiben. K4: Die Schüler verstehen die komplexen Handelswege ihrer eigenen Kunststoffprodukte.	K1: Die Schüler können Kunststoffprodukte aus ihrem Alltag aufzählen. K3: Die Schüler realisieren, wie viele Produkte in ihrem Alltag aus Kunststoffen bestehen.	K2: Die Schüler können verschiedene Kunststoffe von einander unterscheiden.	K1: Die Schüler können Umweltprobleme, welche durch den Einsatz von Plastik entstehen, beschreiben. K4: Die Schüler analysieren, wie Mikroplastik in den Nahrungsmittelkreislauf gelangt.	K5: Die Schüler entwickeln Lösungen und Ideen, wie sie ihren Plastikverbrauch senken können.
Lerninhalte	Vom Rohöl zum fertigen Kunststoffprodukt. <ul style="list-style-type: none">• Aus welchen Rohstoffen besteht Plastik?• Mit welchen Mitteln / Maschinen wird Plastik hergestellt?• Die Transportwege der verschiedenen Rohstoffe, welche für den Herstellungsprozess benötigt werden.	Wo wird Plastik im Alltag verwendet? In welchen Produkten wird es eingesetzt? <ul style="list-style-type: none">• Eine Übersicht der Plastikprodukte.• Wie würde eine Welt ohne Plastik aussehen?	<ul style="list-style-type: none">• Welche Kunststoffe werden recycelt?• Wie funktioniert der Recyclingprozess?• Welche Produkte entstehen nach dem Recycling?• Was kann und was kann nicht recycelt werden?	Welchen Einfluss hat die Verwendung von Plastik auf die Umwelt? <ul style="list-style-type: none">• Wie und wo entstehen die Umweltprobleme?• Welche Auswirkung hat Plastik auf die Umwelt?• Was ist Mikroplastik?• Giftigkeit von Plastik und Einfluss auf den Hormonhaushalt der Lebewesen.	Den Schülern werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie ein nachhaltiger Umgang mit Plastik erreicht werden kann: <ul style="list-style-type: none">• Recycling• Vermeidung von Plastik (Trinkflasche, Einkaufssack beim Einkaufen, hochwertige Produkte kaufen – weg vom Einweg-Plastik)• Die Umwelt von Plastik befreien
Wissenssicherung	Anhand eigener Kunststoffgegenstände wird die Lieferkette angeschaut.	10 typische Alltagsgegenstände aus Teenagerzimmer fotografieren und im Unterricht einteilen.	Poster – Aufzeigen des Plastikreislaufs und die Auswirkungen auf die Umwelt und mich persönlich. Lerndokumentation – Analyse der Produkte bei mir zu Hause, wo könnte Mikroplastik vorkommen.	Video – wie kann ein Sek-Schüler den Plastikkonsum vermindern, welche Produktalternativen gibt es?	
VR Anwendungsfälle	<div>1</div> Die Transformation der einzelnen Rohstoffe von Plastik zum fertigen Produkt. <div>2</div> Die langen Transportwege der Rohstoffe aus aller Welt bis zum Endprodukt im Einkaufsgeschäft.	<div>3</div> Eine Welt ohne Plastik – Wie würde mein Leben ohne Plastik aussehen?	<div>4</div> Recyclingprozess – Bsp. Trinkflasche wird in Einzelkomponenten zerlegt und zum Turnschuh verarbeitet.	<div>5</div> Schüler befinden sich an einem mit Plastikmüll verschmutzten Ort. <div>6</div> Problem Mikroplastik: Was ist Mikroplastik? Grössenvergleich anhand von Lebewesen in Schweizer Gewässer.	<div>7</div> Spiel: Was ist mein Beitrag zur Verminderung des Plastikkonsums?
Eignung für VR	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★

Abbildung 12: Vision einer VR-Lerneinheit zum Thema Kunststoff, überarbeitete Version (1 Stern = sehr geringe Eignung, 3 Sterne = mittlere Eignung, 5 Sterne = sehr hohe Eignung)

Abkürzungen Lehrplan 21: NT: Natur und Technik / BNE: Bildung für Nachhaltige Entwicklung / MI: Medien und Informatik

4.1.2 VR-Anwendungsfälle

Für jeden Lernblock wurden Vorschläge für den Einsatz einer VR-Lernumgebung erarbeitet. Daraus sind sieben potenzielle VR-Anwendungsfälle entstanden. Aufgrund des grossen Umfangs werden diese in Anhang C aufgeführt und im nächsten Kapitel kurz beschrieben. Das Raster für die Darstellung der Anwendungsfälle musste infolge der Rückmeldungen der Lehrpersonen nicht angepasst werden. Deshalb wird in diesem Abschnitt keine Unterscheidung zwischen initialer und überarbeiteter Version gemacht.

Nachfolgend werden die einzelnen Rubriken zur Beschreibung der VR-Anwendungsfälle erläutert.

Idee

Hierbei handelt es sich um einen Kurzbeschrieb des Anwendungsfalls.

Aufbau und Ablauf

In diesem Bereich wird der mögliche Ablauf in der virtuellen Welt grob beschrieben.

Mehrwert durch VR

Damit der Einsatz von VR als sinnvoll eingeschätzt werden kann, muss die Technologie gegenüber herkömmlichen Mitteln einen wesentlichen Mehrwert bieten. In dieser Rubrik wird beschrieben, wieso VR für den konkreten Anwendungsfall einen Vorteil aufweist.

Didaktische Methoden

Die didaktische Ausgestaltung der Lektion und des Inhalts für die VR erfolgt unter Einbezug der in Kapitel 2.2 beschriebenen Theorien. Für jeden Anwendungsfall wurden die didaktischen Elemente aufgelistet.

Vorwissen

In dieser Kategorie wird ausgewiesen, über welches Vorwissen die Schüler verfügen sollten, bevor sie die VR-Lernumgebung nutzen.

Aktivitäten

Hier wird beschrieben, welche Aktivitäten vonseiten der Lehrperson und der Schüler vor, während und nach der Anwendung notwendig sind.

Lernevaluation

In dieser Rubrik wird beschrieben, wie die Lernevaluation aussehen kann.

4.1.3 Bewertung der VR-Anwendungsfälle

Die Ideen wurden vor den Gesprächen mit den Lehrpersonen auf ihre Eignung für eine Darstellung in VR untersucht und bewertet. Die Bewertung wurde anhand der Empfehlung von Pantelidis (2009, S. 65 ff) vorgenommen. Dieser beschreibt, in welchen Situationen der Einsatz von VR sinnvoll ist.

Aufgrund der Rückmeldungen aus den Interviews wurde die Bewertung entsprechend angepasst. Das detaillierte Feedback der Lehrpersonen ist in Anhang D ausgewiesen. Im Folgenden werden die

Ergebnisse der initialen mit der überarbeiteten Bewertung der VR-Anwendungsfälle verglichen. Die Anwendungsfälle werden entlang einer fünfstufigen Skala hinsichtlich ihrem Potenzial von sehr tief bis sehr hoch eingestuft.

1 – Herstellungsprozess / Aufbau

Am Beispiel einer PET-Flasche wird die Kunststoffherstellung mittels 3D-Animation aufgezeigt. Der Schüler nimmt dabei eine aktive Rolle ein. Er kann in den verschiedenen Phasen selbst mitwirken und so den Herstellungsprozess erleben. VR erlaubt ihm dabei, verschiedene Blickwinkel einzunehmen.

Initiale Bewertung

hoch – Die Darstellung der einzelnen Bestandteile und der Transformationsprozess können nicht physisch abgebildet werden.

Überarbeitete Bewertung

tief – Die Darstellung der einzelnen Bestandteile und der Transformationsprozess können nicht physisch abgebildet werden. Da Kunststoffe aber nur aus wenigen Substanzen bestehen, ist die spielerische Komponente nicht sinnvoll und der Herstellungsprozess kann auch mit konventionellen Mitteln erläutert werden.

2 – Transportwege

Substanzen zur Kunststoffherstellung werden verteilt über die ganze Welt abgebaut und daraus Zwischenprodukte hergestellt. Diese globale Lieferkette soll virtuell dargestellt werden. Der Schüler sieht auf einem virtuellen Globus, in welchen Ländern die Rohstoffe abgebaut und wie diese in Fabriken zur Herstellung des Zwischen- oder des Endprodukts transportiert werden.

Initiale Bewertung

mittel – Die Transportwege könnten auch mit einem realen Globus gezeigt werden. VR bietet hier den Vorteil, dass die Schüler selbstständig auf der Karte navigieren und die einzelnen Rohstoffe erkunden können.

Überarbeitete Bewertung

mittel – Die Idee wurde als geeignet sowie auch als ungeeignet beurteilt. Bei der negativen Bewertung wurde erwähnt, dass die Transportwege bereits heute mit einem Atlas aufgezeigt werden können. Ein Feedback war, dass die VR einen Mehrwert für das entdeckende Vorgehen bietet.

3 – Welt ohne Plastik

Der Schüler befindet sich in einem typischen Teenager-Zimmer. Ihm soll aufgezeigt werden, welche Gegenstände Kunststoffe enthalten. Zusätzlich kann er die einzelnen Gegenstände anklicken und nachlesen, welche Kunststoffe bei der Herstellung verwendet wurden.

Initiale Bewertung

mittel – Den Schülern wird eine Welt ohne Plastik aufgezeigt. Dies ist in der Realität fast nicht möglich, weshalb VR hier einen Mehrwert bietet.

Überarbeitete Bewertung

mittel – Die Idee wurde zum grössten Teil positiv bewertet. Wichtig ist dabei, dass sich die Schüler in der Situation (Teenager-Zimmer) wiedererkennen. Eine Fachperson fand die Idee zwar gut, sah aber keinen grossen Vorteil von VR gegenüber konventionellen Methoden.

4 – Recycling

Am Beispiel einer PET-Flasche sollen die verschiedenen Prozessschritte des Recyclings aufgezeigt werden. Die Zerlegung in die einzelnen Bestandteile kann durch den Schüler gesteuert werden. Gestartet wird mit einem kleinen Spiel, in welchem der Schüler entscheiden muss, welche Gegenstände recyclebar sind und welche nicht.

Initiale Bewertung

hoch – Die Darstellung der einzelnen Bestandteile und der Transformationsprozess können nicht physisch abgebildet werden.

Überarbeitete Bewertung

tief – Dieser Vorschlag wurde als eher ungeeignet bewertet, da man diesen Prozess heute bereits mit konventionellen Methoden abbilden kann. Eine Fachperson sieht den grossen Vorteil bei diesem Fall darin, den Prozess vom Anfang bis zum Ende erleben zu können.

5 – Umweltprobleme Einstieg

Das globale Problem der Umweltverschmutzung wird dem Schüler anhand von 360°-Videosequenzen aufgezeigt. Der Schüler nimmt dabei verschiedene Perspektiven ein. In einem zweiten Schritt wird ihm ein Vergleich mit Müllmengen gezeigt.

Initiale Bewertung

mittel – Das Problem kann auch physisch dargestellt werden. VR bietet hier jedoch die Möglichkeit, einen weltumrundenden Blick auf das Problem zu werfen.

Überarbeitete Bewertung

tief – Die Idee wird von den meisten Befragten als interessant bewertet. VR bietet aber keinen substanziellen Vorteil gegenüber einem Video.

6 – Umweltproblem Mikroplastik

Der Schüler befindet sich in einem Schweizer Gewässer. Er kann sich unter der Wasseroberfläche frei bewegen und sieht die beeindruckende Artenvielfalt. In der Unterwasserwelt gibt es zwei Ebenen, die normale und eine stark vergrösserte. Der Schüler sieht, wie klein Mikroplastik ist und wie es durch unsere Gewässer treibt. Mit einem Klick auf die Partikel werden ihm Infos über Mikroplastik angezeigt.

Initiale Bewertung

hoch – Mikroplastik ist für das menschliche Auge nicht sichtbar. Mit VR ist es möglich, diesen sichtbar zu machen. Es kann aufgezeigt werden, wie und wo Mikroplastik unsichtbar die Umwelt belastet.

Überarbeitete Bewertung

hoch – Die Fachpersonen beurteilen den Fall als geeignet für die virtuelle Welt. Die Schüler werden emotional berührt und können die Grösse von Mikroplastik mit geeigneten Elementen vergleichen. Der grosse Vorteil von VR liegt hier bei der Darstellbarkeit von Mikropartikeln.

7 – Verminderung Plastikkonsum

Der Schüler soll sein Konsumverhalten virtuell üben. Dazu steht er in einem Lebensmittelgeschäft mit vielen verschiedenen Artikeln. Er erhält einen Einkaufszettel und soll möglichst plastikfrei einkaufen.

Initiale Bewertung

tief – Der Vorgang kann gut in der realen Welt simuliert werden.

Überarbeitete Bewertung

sehr tief – Die Idee wurde von keiner der Lehrpersonen als sinnvoll erachtet. Es gibt beim Einkaufen kaum alternative Produkte ohne Plastik und das Spiel wäre gemäss den Befragten für Sekundarschüler eher langweilig.

4.1.4 Auswahl eines VR-Anwendungsfalls

Initial wurde drei Ideen hohes Potenzial attestiert. Nach der Befragung weist hingegen nur noch das sechste Szenario "Umweltproblem Mikroplastik" eine hohe Bewertung auf. Das Resultat deckt sich mit den Aussagen von Winn und Salzmann (siehe Kapitel 2.3.2), welche VR für den Grössenvergleich in naturwissenschaftlichen Disziplinen als sinnvoll erachten. Aus diesen Gründen wird der VR-Anwendungsfall "Umweltproblem Mikroplastik" für die Umsetzung einer VR-Lernumgebung ausgewählt.

4.2 Konzeption (Define)

In diesem Kapitel wird das Vorgehen für die Konzeption des Prototyps gemäss der Definition des VR-Anwendungsfalls "Umweltproblem Mikroplastik" beschrieben. Dazu wird auf bestehende Modelle der Softwareentwicklung zurückgegriffen. Diese werden einleitend kurz erläutert. Die gesamte Entwicklung folgt einem iterativen Entwicklungsprozess nach Jerald (2016) und wird in die drei Phasen "Define", "Make" und "Learn" unterteilt (Abbildung 13). In der Arbeit werden die drei Schritte in den Kapiteln Konzeption (Define), Entwicklung (Make) und Evaluation (Learn) abgebildet.

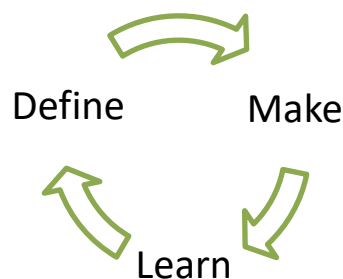


Abbildung 13: Iterativer VR-Entwicklungsprozess (Jerald, 2016, S. 370)

Die Entwicklung von VR-Inhalten basiert auf künstlerischen und technischen Fähigkeiten der Entwickler. Im Mittelpunkt steht die Benutzererfahrung, welcher während der Erstellung die höchste Aufmerksamkeit geschenkt werden soll – diese Prämisse wird als human-centered bezeichnet (Jerald, 2016, S. 374). VR bietet während dem Entwicklungsprozess die Möglichkeit, die erstellten Inhalte zu entdecken und auszuprobieren. Ein Kernkonzept bei der Entwicklung von virtuellen Welten ist deshalb die iterative Anpassung der Lösung aufgrund der Erfahrungen der Benutzer (Gothelf & Seiden, 2013). Anstatt einer ausführlichen theoretischen Konzeption der Entwicklung empfiehlt Jerald (2016, S. 373ff.) , schnell mit der Erstellung von Prototypen zu beginnen.

Die Define-Phase steht am Anfang des Projekts, wird aber ständig wieder durchlaufen, um die Rückmeldungen aus den anderen Phasen in das Konzept mitaufzunehmen. Die Definition soll aus der Perspektive der Benutzer entstehen (Jerald, 2016, S. 380).

In den folgenden Kapiteln werden die Konzepte des Entwicklungsprozesses einleitend theoretisch beschrieben und anschliessend die Ergebnisse dieser Arbeit erläutert.

4.2.1 Vision

Laut Jerald (2016, S. 380) braucht es wie bei jedem Entwicklungsprojekt eine Vision. Hier steht die Frage im Mittelpunkt, was mit der Entwicklung erreicht werden soll.

Resultate

Die Schüler erkennen anhand des Beispiels eines Schweizer Sees das Problem der Mikroplastikverschmutzung. Sie verstehen, wie klein Mikroplastikpartikel sind und wie der Mensch über den Nahrungsmittelkreislauf von dem Problem betroffen ist.

4.2.2 Ziele

Mithilfe von Zielen, welche sich aus der Vision ableiten, soll der Entwicklungsprozess überwacht werden. Diese orientieren sich gemäss Jerald (2016, S. 383) primär an den Geschäftsprozesszielen.

Resultate

Die Ziele werden in die drei Kategorien Didaktik, Lerninhalte und Technologie unterteilt. Im Folgenden werden die einzelnen Ziele und deren Herleitung erläutert.

Die erste Zielkategorie der VR-Lernumgebung betrifft die Einhaltung didaktischer Vorgaben. Die didaktischen Ziele orientieren sich deshalb an den in Kapitel 2.2 definierten Modellen.

- Der Prototyp soll die im Lehrplan 21 definierten Qualitätsmerkmale (Kapitel 2.2.1) für Lernumgebungen erfüllen (Kürzel: LP 1-10).
- Die drei Leitlinien des erfahrungsbasierten Lernens (Kapitel 2.2.2) sollen berücksichtigt werden (Kürzel: EL 1-3).

Die zweite Zielekategorie bezieht sich auf die Lerninhalte. Die in der Vision (siehe Abbildung 13) definierten Lernziele zum Thema Umweltprobleme sollen erreicht werden.

- Die Schüler können Umweltprobleme, welche durch den Einsatz von Plastik entstehen, beschreiben.

- Die Schüler analysieren, wie Mikroplastik in den Nahrungsmittelkreislauf gelangt.

Die dritte Zielkategorie betrifft VR als Technologie mit ihren Möglichkeiten. Die Ziele leiten sich aus den in Kapitel 2.1.1 definierten Kategorien ab.

- Immersion: Der Prototyp soll die verschiedenen Sinne der Schüler stimulieren.
- Interaktion: Die Schüler sollen mit Objekten in der virtuellen Welt interagieren können.
- Imagination: Die VR-Lernumgebung soll sich für die Schüler wie die reale Welt anfühlen. Die Schüler sollen das Gefühl haben, sie seien an den dargestellten Örtlichkeiten.

4.2.3 Personas

Die Zielgruppe, welche mit der VR-Lösung arbeitet, sollte klar beschrieben werden. Dies dient der besseren Ausrichtung der Entwicklung auf die Bedürfnisse der Benutzer, anstatt auf die technischen Möglichkeiten (Jerald, 2016, S. 391). Die so definierten Nutzergruppen werden als Personas bezeichnet.

Resultate

In Tabelle 3 werden die einzelnen Personas, die mit der Lösung arbeiten, beschrieben. Den Schülern als Hauptnutzer gilt bei der Entwicklung das Hauptaugenmerk.

Tabelle 3: Beschreibung der Personas

 <p>Abbildung 14: Persona Tim, Oberstufenschüler in der Schweiz (Korn, 2018)</p>	<p>Profil: Tim, 14 Jahre alt, Oberstufenschüler in der Schweiz.</p> <p>Erfahrung mit Technologie: Tim ist wie die meisten Teenager in seinem Alter sehr technologieaffin. Seit seinem 8. Lebensjahr verfügt er über ein Smartphone und ist sich gewohnt, mit modernen Apps zu arbeiten und vor allem zu spielen.</p> <p>Einstellung zur Schule: Tim geht gerne zur Schule und ist ein Schnelllerner. Er spielt gerne Videospiele und würde sich diese auch vermehrt im Schulunterricht wünschen.</p>
 <p>Abbildung 15: Persona Ruth Muster, Oberstufenlehrerin im Bereich Natur & Technik in der Schweiz (Korn, 2018)</p>	<p>Profil: Ruth Muster, 40 Jahre alt, Oberstufenlehrerin im Bereich Natur & Technik in der Schweiz.</p> <p>Erfahrung mit Technologie: Ruth Muster benutzt seit vielen Jahren ihren iMac, sie erstellt damit die Unterrichtsmaterialien und Prüfungen. Im Unterricht setzt sie Powerpoint-Folien und die Wandtafel als Präsentations-Medium ein. Sie erkennt einen Mehrwert beim Einsatz von Informationsmitteln in der Schule. Mit Virtual Reality hat sie noch keine Erfahrung gemacht.</p> <p>Einstellung zur Schule: Ruth Muster ist seit 12 Jahren als Oberstufenlehrerin tätig. IT-Tools sind für sie Werkzeuge, die einfach funktionieren müssen und für deren Bedienung sie nicht viel Zeit aufwenden möchte.</p>

4.2.4 User-Stories

User-Stories werden in der agilen Softwareentwicklung verwendet. Sie beschreiben laut Jerald (2016, S. 392) kurz und prägnant die Funktionen, welche von den Benutzern erwartet werden. Die Stories sind in der folgenden Form darzustellen:

"Als <Persona> möchte ich <Ziel der Funktion> so dass ich <Grund für das Ziel> erreichen kann."

Zu den Stories können Abnahmekriterien definiert werden.

Resultate

Die User Stories sind in Tabelle 4 aufgeführt. Sie beziehen sich auf die generellen Funktionen der VR-Lernumgebung und nicht auf die einzelnen Lerninhalte.

Tabelle 4: User Stories

User-Story	Abnahmekriterien
Als Schüler möchte ich mich in der virtuellen Welt frei bewegen können, um selbstständig zu forschen und ein möglichst reales Erlebnis zu erhalten.	Die Schüler können sich in der Umgebung frei bewegen und diese erkunden.
Als Schüler möchte ich einfach und intuitiv durch die virtuelle Welt navigieren können, um möglichst nicht vom eigentlichen Lerninhalt abgelenkt zu werden.	Die Navigation durch die Lernumgebung ist einfach zu erlernen und ist entlang der Levels stringent.
Als Schüler möchte ich stets eine klare Aufgabe, damit ich weiss, was zu tun ist.	Die Schüler haben stets eine Aufgabe und wissen, was sie tun müssen. Sie können die Aufgabe jederzeit einblenden.
Als Schüler möchte ich mit den Gegenständen in der virtuellen Welt intuitiv interagieren können, damit sich die Erfahrung real anfühlt.	Gegenstände können berührt und kleine Gegenstände aufgehoben werden.

4.2.5 Storyboard

Storyboards sind Visualisierungen, die während der Konzeptionsphase erstellt werden. Sie zeigen, wie die virtuelle Welt aussehen könnte. Im Gegensatz zu der Softwareentwicklung für 2D-Applikationen, in denen eine Illustration des Bildschirminhalts erstellt wird, muss das Storyboard für die VR-Applikation der 360°-Perspektive gerecht werden (Jerald, 2016, S. 393).

Resultate

Für den Prototyp wurde von Hand ein Storyboard skizziert. Das Storyboard ist nachfolgend mit den einzelnen Szenen beschrieben. Zusätzlich wird die Verknüpfung zu den Zielen angegeben. Damit soll sichergestellt werden, dass die didaktischen Ziele bei der Entwicklung im Fokus bleiben.

Tabelle 5: Storyboard für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Unterwasser

Beschreibung	Szene Unterwasser
	<p>Der Schüler befindet sich in einem Schweizer Gewässer und kann sich in einem bestimmten Sektor frei bewegen.</p> <p>Es gibt verschiedene Elemente und Gegenstände, die er erkunden kann. Er hat die Aufgabe, eine Gummiente zu finden. Sobald er die Gummiente findet, startet die Szene für die Mikrowelt.</p>



Abbildung 16: Skizze für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Unterwasser

Ziele

Spezifische Ziele

- Die Schüler verstehen, wie es in einem Schweizer See unter Wasser aussieht.
- Die Schüler verstehen, wie Mikroplastik in die Umwelt gelangt.

Übergeordnete Ziele

Folgende Ziele aus den drei definierten Zielkategorien (Kapitel 4.2.2) sollen erfüllt werden:

Didaktisch

Lehrplan 21: LP 1, LP 2, LP 3, LP 4, LP 5, LP 6, LP 7, LP 10

Erfahrungsbasiertes Lernen: EL 1


Lerninhalte

Die Schüler analysieren, wie Mikroplastik in den Nahrungsmittelkreislauf gelangt.

Technologie

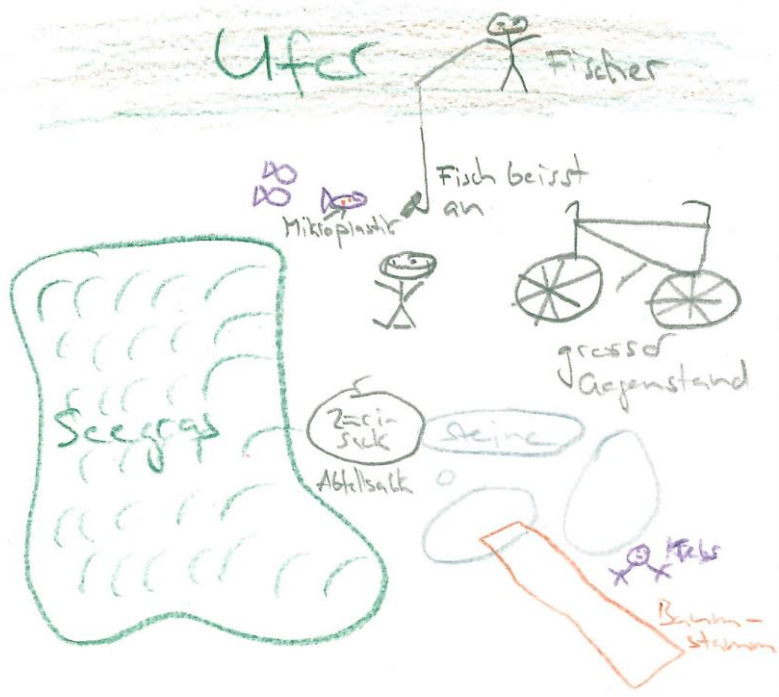
Alle drei Teilziele sollen erfüllt werden.

Tabelle 6: Storyboard für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Mikrowelt Grössenvergleich

Beschreibung	Szene Mikrowelt Grössenvergleich In der Mikrowelt hat der Schüler die Möglichkeit, mittels Zoom-Funktion die Gummiente und/oder einen Fisch mit Mikroorganismen und Mikroplastik zu vergleichen. Er erhält so ein Gefühl dafür, wie klein Mikroplastik ist.
 <p>Abbildung 17: Skizze für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Mikrowelt Grössenvergleich</p>	
Ziele	Spezifische Ziele <ul style="list-style-type: none"> Die Schüler verstehen, wie klein Mikroartikel im Vergleich zu anderen Objekten sind. Übergeordnete Ziele Folgende Ziele aus den drei definierten Zielkategorien (Kapitel 4.2.2) sollen erfüllt werden: <i>Didaktisch</i> Lehrplan 21: LP 1, LP 2, LP 3, LP 4, LP 5, LP 6, LP 7, LP 10 Erfahrungsbasiertes Lernen: EL 1 <i>Lerninhalte</i> Keine <i>Technologie</i>

Alle drei Teilziele sollen erfüllt werden.

Tabelle 7: Storyboard für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Angler fängt Fisch

Beschreibung	Szene Angler fängt Fisch Nachdem der Schüler die Mikroebene verlassen hat beobachtet er, wie ein Angler einen Fisch fängt, den er vorher noch aus der Nähe gesehen hat.
	 <p>Abbildung 18: Skizze für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene Angler fängt Fisch</p>
Ziele	Spezifische Ziele <ul style="list-style-type: none"> Der Schüler sieht, wie der Fisch, welcher zuvor die Mikroplastikpartikel gefressen hat, von einem Angler gefangen wird. Übergeordnete Ziele Folgende Ziele aus den drei definierten Zielkategorien (Kapitel 4.2.2) sollen erfüllt werden: <i>Didaktisch</i> Lehrplan 21: LP 3, LP 4, LP 6 Erfahrungsbasiertes Lernen: Keine <i>Lerninhalte</i> Die Schüler analysieren, wie Mikroplastik in den Nahrungsmittelkreislauf gelangt.

	Technologie Alle drei Teilziele sollen erfüllt werden.
--	--

Tabelle 8: Storyboard für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene "En Guetä"

Beschreibung	Szene "En Guetä" Zuhause am Küchentisch wird dem Schüler ein frisch gefangener Fisch serviert. Dieser hat aber offensichtlich auch Mikroplastik gefressen.
---------------------	--

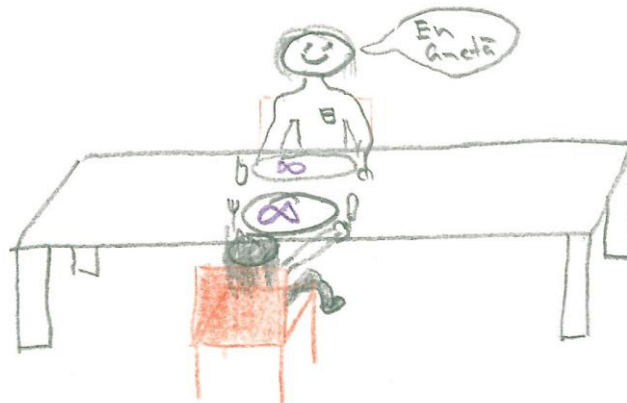


Abbildung 19: Skizze für den VR-Anwendungsfall „Umweltproblem Mikroplastik“, Szene "En Guetä"

Ziele	Spezifische Ziele <ul style="list-style-type: none"> Die Schüler erkennen, dass Mikroplastik über die Nahrungsmittelkette auf ihrem Teller landet. Übergeordnete Ziele Folgende Ziele aus den drei definierten Zielkategorien (Kapitel 4.2.2) sollen erfüllt werden: <i>Didaktisch</i> Lehrplan 21: LP 1, LP 2, LP 3, LP 4, LP 5, LP 6, LP 10 Erfahrungsbasiertes Lernen: EL 1 <i>Lerninhalte</i>
--------------	---

	<p>Die Schüler analysieren, wie Mikroplastik in den Nahrungsmittelkreislauf gelangt.</p> <p><i>Technologie</i></p> <p>Alle drei Teilziele sollen erfüllt werden.</p>
--	--

4.2.6 Zeitplan

Zeitabschätzungen sind zu Beginn der Entwicklung sehr ungenau und können stark variieren. Trotzdem sollte nach Jerald (2016, S. 385) ein grober Zeitplan definiert werden.

Resultate

Für die Entwicklung des Prototyps stehen fünf Wochen mit einer Gesamtkapazität von 130 Arbeitsstunden zur Verfügung.

4.3 Entwicklung (Make)

Diese Phase beschreibt die Entwicklung der VR-Lernumgebung. Zuerst wird die ausgewählte Technologie erläutert. Das Implementierungs-Logbuch beschreibt die Planung und die Resultate der einzelnen Sprints. Im letzten Unterkapitel wird der Prototyp präsentiert.

4.3.1 Technologieauswahl

Bei der Definition der technologischen Komponenten der Lösung ist es wichtig, für verschiedene Parameter eine Entscheidung hinsichtlich der Umsetzung zu treffen. Jerald (2016, S. 411) nennt in diesem Zusammenhang eine Auswahl von Kriterien für die Steuerung, die Bewegung, die Interaktion und die angestrebte Immersion.

Resultate

Die Auswahl der Technologie wird in die Kategorien Hardware, Software und 3D-Inhalte unterteilt. Im Hardwarebereich wurde die initiale Idee, den Prototyp für eine Smartphone-VR Umgebung zu entwickeln, verworfen. Diese Systeme sind weniger immersiv und Interaktionen sind nur beschränkt möglich. Für die Arbeit soll eine voll-immersive VR-Umgebung verwendet werden. Korgel (2018, S. 15) beschreibt eine Auswahl dieser Systeme. Die ZHAW hat für die vorliegende Arbeit eine HTC Vive zur Verfügung gestellt.

Die HTC Vive besteht aus einem HMD, zwei Motion Controllern und zwei sogenannten Lighthouses. Letztere dienen dem Tracking des HMD und der Controller mittels Laser (Korgel, 2018, S. 17). Für das Rendering der Bildinhalte muss das System an einen leistungsstarken Computer angeschlossen werden.

Zur Entwicklung von Applikationen für die HTC Vive stehen verschiedene Softwareplattformen zur Verfügung. Dabei handelt es sich um Entwicklungs- und Laufzeitumgebungen für Videospiele. Die zur Auswahl stehenden Programme sind nach Wise (2017) Unreal Engine, Unity 3D, CryEngine und Lumberyard. Aufgrund der geringen Vorkenntnisse des Autors in der Softwareentwicklung, wird eine Plattform ausgewählt, in welcher die virtuelle Welt mit wenig Programmierung erstellt werden kann. Ein weiteres Kriterium für die Auswahl der Plattform ist die Grösse der Nutzerbasis.

Zu den verschiedenen Anbietern konnten im Rahmen der Recherche keine Bewertungen von renommierten IT-Technologieportalen gefunden werden. In Blog-Beiträgen und Bewertungsportalen wird Unity als die meistbenutzte Plattform im Bereich der VR-Entwicklung genannt. Der Hauptkonkurrent von Unity ist nach Bitner (2017) Unreal Engine. Unity erfüllt die Anforderungen hinsichtlich der Einfachheit und der grossen Nutzerbasis und wurde daher als Entwicklungstool ausgewählt.

Um die virtuelle Welt realistisch zu gestalten, braucht es 3D-Objekte. Diese zu erstellen steht nicht im Fokus dieser Arbeit. Für die Entwicklung wird auf bestehende Objekte aus dem Internet zurückgegriffen.

4.3.2 Unity

Unity ist eine Entwicklungs- und Laufzeitumgebung für 2D- und 3D-Videospiele. Die Software unterstützt eine Vielzahl von Hardware-Plattformen. Im Folgenden werden die wesentlichen Komponenten und die Oberfläche von Unity kurz beschrieben.

Unity-Komponenten

Jedes Unity-Projekt besteht aus einer oder mehreren Szenen (Scene). Eine Scene wiederum besteht aus einem oder mehreren Spiel-Objekten (GameObjects). GameObjects sind leere Container, welche durch das Hinzufügen von Komponenten (Components) mit Eigenschaften ausgestattet werden. Korgel (2018, S. 55) beschreibt die wichtigsten Komponenten, welche nachfolgend summarisch erläutert werden.

Camera und Audio Listener

Camera und Audio Listener stellen die Augen und Ohren des Spielers dar. Diese werden meist mit dem GameObject des First-Person-Controllers verbunden, so dass sie sich mit dem Charakter bewegen. Um die Integration der Hardware in Unity zu erleichtern, stellen die Hardware-Hersteller ein Software-Development-Kit zur Verfügung.

Lights

Einer Scene können beliebig viele Lichtquellen hinzugefügt werden. Damit werden zum Beispiel die Intensität und der Einfallswinkel der Sonne definiert.

Mesh Renderer

Der Mesh Renderer wird dem GameObject zur Darstellung der 3D-Form beigelegt.

Collider

Um Kollisionen mit anderen Objekten berechnen zu können, bestimmt der Collider die Form des GameObjects.

Rigidbody

Mit dem Hinzufügen eines Rigidbody wird die 3D-Simulation aktiviert. Die Physik-Engine von Unity berechnet fortan Position und Rotation des Objekts. Ein Rigidbody benötigt zusätzlich immer einen oder mehrere Collider.

Audio Source

Audioquellen werden zum Abspielen von Sounds verwendet.

Scripts

Scripts sind in C# geschriebene Quellcode-Dateien, welche ermöglichen, dem GameObject individuelle Eigenschaften zuzuweisen. Damit kann das Verhalten des Objekts beeinflusst werden.

Animation und Animation Controller

Ein GameObject kann physisch animiert werden. Dazu stellt Unity eine Animationsfunktion zur Verfügung. Ganze Sequenzen können mittels des Animation-Controllers definiert werden.

Assets

Assets werden den einzelnen Components hinzugefügt und definieren Eigenschaften von GameObjects. Die wichtigsten Assets sind:

- Textures: Texturen sind Grafiken, welche das Aussehen eines Objektes beschreiben.
- Shaders: Parameter, die bestimmen, wie die Oberfläche dargestellt werden soll.
- Materials: Informationscontainer bestehend aus Textures und Shaders. Materials bestimmen, wie die 3D-Oberfläche letztendlich aussieht.
- Sounds: Sind Audiodateien, welche über die Audio-Source abgespielt werden.

Unity-Oberfläche

Öffnet man eine Scene, gelangt man zu einer Oberfläche, wie sie in der Abbildung 20 dargestellt ist. Diese besteht im Wesentlichen aus den folgenden Bestandteilen, die nach den Zahlen in der Abbildung nummeriert sind.

1. Scene mit ihrer Objekt-Hierarchie: Hier werden die in der Scene verbauten GameObjects aufgelistet.
2. In diesem Fenster werden die verschiedenen Ansichten dargestellt. In der Scene-View können die Objekte positioniert und angepasst werden.
3. In der Projektansicht werden alle Assets geladen, welche dem Projekt hinzugefügt wurden.
4. In der Inspector-View werden die Details zu einzelnen GameObjects angezeigt. Hier können Parametrisierungen vorgenommen und Skripts verlinkt werden.

Für eine ausführliche Beschreibung der Unity-Masken wird auf Korgel (2018, S. 40ff) verwiesen.

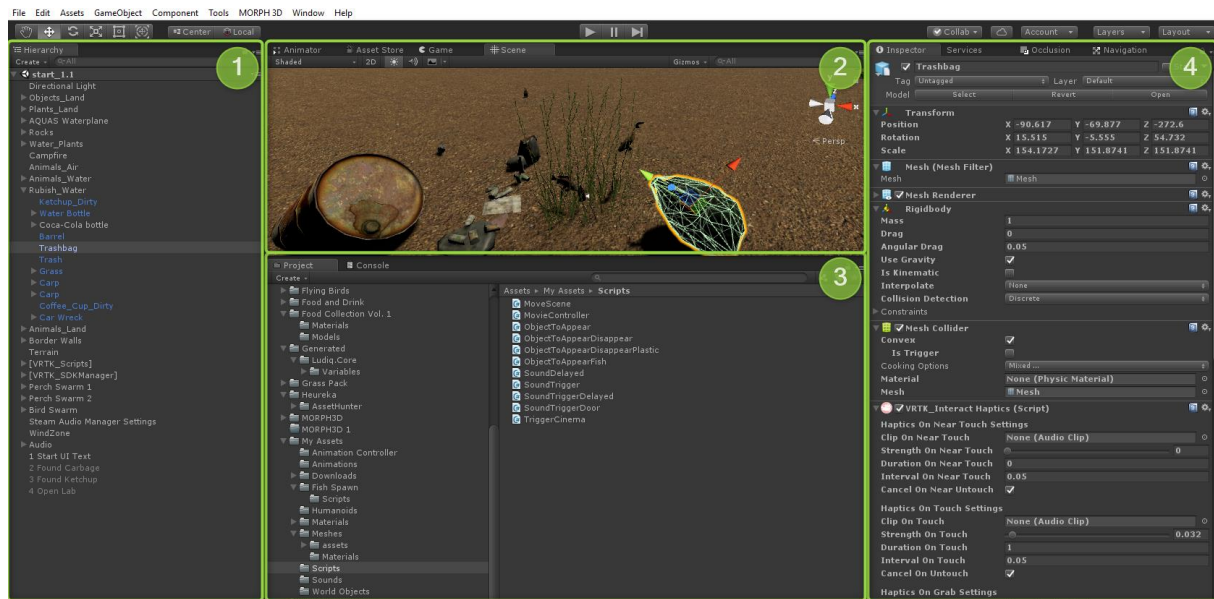


Abbildung 20: Unity-Oberfläche

4.3.3 Implementierungs-Logbuch

In der agilen Softwareentwicklung werden die erstellten User-Stories priorisiert und dem Produkt-Backlog hinzugefügt (Cohn, 2010, S. 243). Dieser wird in sogenannte Sprints, das sind definierte Zeiteinheiten, eingeteilt. Ziel ist es, am Ende eines Sprints einen funktionierenden Programmteil entwickelt zu haben (Cohn, 2010, S. 258).

Resultate

Die Entwicklungszeit von fünf Wochen wurde in fünf Sprints unterteilt. Zusätzlich wurde aufgrund der Evaluationsergebnisse der Sekundarschule eine zusätzliche Verbesserungsiteration geplant. Die User-Stories (Kapitel 4.2.4) wurden in einer initialen Planung auf die Sprints verteilt. Die Planung wurde aufgrund der Resultate jede Woche angepasst. Im Folgenden wird der Inhalt der einzelnen Sprints mit den jeweiligen Resultaten erläutert.

Sprint 1 – Start-Szene Unterwasser

Planung

Im ersten Sprint wird die Interaktion zwischen der HTC Vive und Unity implementiert und die Startszene gestaltet. Folgende Anforderungen sind zu erfüllen:

- Navigation und Interaktion mittels HTC Vive in Unity
- Landschaft mit See
- Unterwasserwelt mit Tieren, Pflanzen und Gegenständen
- Optional: Die Möglichkeit, im Wasser zu tauchen

Ergebnisse

Bis auf das Tauchen konnten die Anforderungen erfüllt werden. Dies hätte eine komplexere Programmierung bedingt, welche im Rahmen der Möglichkeiten nicht implementiert werden konnte. Wie auch an Land, schwebt der Schüler Unterwasser direkt über dem Boden. Das Skript, welches die Fische nach dem Zufallsprinzip schwimmen lassen soll, funktionierte noch nicht. Aufgrund des Fortschritts konnte bereits mit der Entwicklung der Mikrowelt begonnen werden. Bei der genaueren Ausarbeitung einer möglichen Lösung zur Darstellung der vergrösserten Welt, wurde die ursprüngliche Idee verworfen. Initial war geplant, die Mikrogegenstände mittels einer Lupe zu erforschen. Der Entscheid ist wegen der Handhabbarkeit für die Schüler und aufgrund der technischen Limitationen gefallen.

Sprint 2 – Szene Mikrowelt

Planung

Im zweiten Sprint wird die Szene der Mikrowelt entwickelt. Folgende Anforderungen sind zu erfüllen:

- Gestaltung der Mikrowelt
- Grössenvergleich von Mikroplastik und einem Fisch in der 1000-fach vergrösserten Darstellung
- Mechanismus, um die Szene zu wechseln

Ergebnisse

Die ersten beiden Anforderungen wurden erfüllt. Anstatt eines Reglers, mit welchem man die Vergrösserung beeinflussen kann, wurden die Gegenstände fix 1000-fach vergrössert. Der Mechanismus für den Wechsel der Szene konnte aus zeitlichen Gründen noch nicht implementiert werden.

Sprint 3 – Szene Unterwasser & Szene Mikrowelt

Planung

Im dritten Sprint werden verschiedene Anpassungen in den beiden zuvor erarbeiteten Szenen vorgenommen. Folgende Anforderungen sind zu erfüllen:

- Kino für kurze Filmsequenz zum Thema Plastik und Umweltprobleme
- Mechanismus, um die Szene zu wechseln
- Fische und Vögel bewegen sich
- Triggerzonen für das Auslösen von Aktionen, wie Musikeffekte oder das Erscheinen von Game-Objects

Ergebnisse

Die Anforderungen konnten erfüllt werden. Anstatt der im Storyboard beschriebenen Gummiente (Kapitel 4.2.5) müssen die Schüler eine Ketchup-Flasche suchen. Diese dient als Schlüssel, um in die Mikrowelt zu gelangen. Die Szene der Mikrowelt startet, sobald die Flasche zum Labor gebracht wurde.

Sprint 4 – Verbesserungen & Szene "En Guetä"

Planung

Im vierten Sprint werden Verbesserungen und die Szene "En Guetä" implementiert. Auf die Umsetzung der im Storyboard definierten Szene "Angler fängt Fisch" wird verzichtet. Dies hat zwei Gründe: Einerseits ist der Umsetzungsaufwand im Verhältnis zum erwarteten Nutzen hoch, andererseits sollte die Blickrichtung des Benutzers nicht übersteuert werden. Es ist somit schwierig, zu gewährleisten, dass der Benutzer den Fang wahrnimmt. Folgende Anforderungen sind zu erfüllen:

- Anstatt einem 3D-Modell des Controllers sollen in der virtuellen Welt zwei Hände sichtbar sein
- Gegenstände und Personen für die Szene "En Guetä"
- Soundaufnahmen für Auftragsanweisungen
- Soundeffekte

Ergebnisse

Die Anforderungen konnten erfüllt werden.

Sprint 5 – Verbesserungen

Planung

Der fünfte Sprint wurde über die Zeitdauer von zwei Wochen geplant. Gemeinsam mit dem laufenden Testing durch den Autor wurde die Lösung von verschiedenen Personen ohne pädagogischen Hintergrund informell getestet. Neben vielen kleineren Anpassungen sollen aufgrund der Rückmeldungen folgende wesentlichen Änderungen vorgenommen werden:

- Schwebegeschwindigkeit reduzieren: Mehreren Probanden wurde es bei der Anwendung unwohl
- Aufträge mittels Tastendruck jederzeit einblenden
- Aufträge klarer kommunizieren

Ergebnisse

Die Verbesserungen wurden implementiert. Das Labor in der Start-Szene musste an einen tiefer gelegenen Standort verschoben werden, da der Spieler durch die reduzierte Geschwindigkeit den steilen Aufstieg zum Strand aus technischen Gründen nicht geschafft hätte.

Sprint 6 – Verbesserungsiteration

Planung

Aufgrund der Erkenntnisse des Pilotversuchs an der Sekundarschule Meilen wurde ein sechster Sprint mit folgenden Verbesserungen geplant:

- Das Versteck der Ketchup-Flasche in der Szene "Unterwasser" soll einfacher zu finden sein.

- Verliert man die Ketchup-Flasche beim Transport ins Labor, ist diese schwer zu finden. Ein Radar, welches anzeigt, wo sich die Flasche befindet, wäre wünschenswert.
- Der Mülleimer in Szene "Mikrowelt" soll einfacher gefunden werden können.
- Der Abschluss in der Szene "En Guetä" soll nicht zu abrupt sein.

Ergebnisse

Die Ketchup-Flasche wurde näher beim entsorgten Abfall platziert und etwas vergrössert. Die Idee eines Kompasses, welcher bei Verlust der Flasche anzeigt, wo diese liegt, wurde verworfen. Grund dafür ist der hohe Umsetzungsaufwand. Angepasst wurden die Position des Mülleimers und die Szene "En Guetä": Es liegen nun zwei Fische im Teller. Einer der beiden Fische enthält Mikroplastik. Der Schüler muss sich für den richtigen Fisch entscheiden.

4.3.4 Prototyp

In diesem Kapitel wird der erstellte Prototyp erläutert. Dieser ist in die drei Szenen Unterwasser, Mikrowelt und "En Guetä" unterteilt. Der Prototyp liegt der Arbeit bei und wird auf der Webseite für neue Lehrkonzepte (Keller, 2018) publiziert.

Szene 1 – Unterwasser

Beim Start der Lernumgebung befindet sich der Schüler unter Wasser. Die Unterwasserlandschaft ist mit Pflanzen, Felsen, Fischen, einem Autowrack sowie einem Boot ausgestaltet (Abbildung 21). Der Schüler erhält über eine Audioausgabe den Auftrag, den illegal entsorgten Abfall zu suchen. Aufträge können in allen Szenen jederzeit per Knopfdruck eingeblendet werden. Sobald sich der Schüler dem Abfallhaufen nähert, wird der Auftrag spezifiziert. Er soll die Flasche mit der Sauce suchen, welche er normalerweise zu Pommes-Frites verspeist. Die Ketchup-Flasche ist inmitten eines Busches von Seegrashalmen versteckt (Abbildung 22) und emittiert Mikroplastik. Dies wird mit pinkfarbenen Punkten dargestellt, welche vom Flaschenkörper abstrahlen. Über eine Audioausgabe wird dem Schüler erklärt, dass die Partikel von den im Seegrass fressenden Karpfen aufgenommen werden. Als nächstes muss der Schüler die Flasche aufheben und ins Labor bringen. Dazu geht er am Autowrack und am Boot vorbei an die Wasseroberfläche. Die Szenerie an Land gleicht dem Ufer eines Bergsees. Vögel kreisen am Himmel, eine Hase und ein Reh sind am Fressen und in der Mitte des Platzes steht eine Holzhütte, welche prominent mit "Labor" beschriftet ist. Die Akustik hat sich in der Zwischenzeit verändert: Während der Schüler unter Wasser Tauchgeräusche gehört hat, zwitschern nun an Land die Vögel. Mit ausgestreckter Ketchup-Flasche (Abbildung 23) gelangt der Schüler ins Labor und die Szene "Mikrowelt" wird geladen.



Abbildung 21: Start – Fische und Abfall im Sichtfeld. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 1 "Unterwasser"



Abbildung 22: Aufgabe – Suche die Ketchup-Flasche. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 1 "Unterwasser"

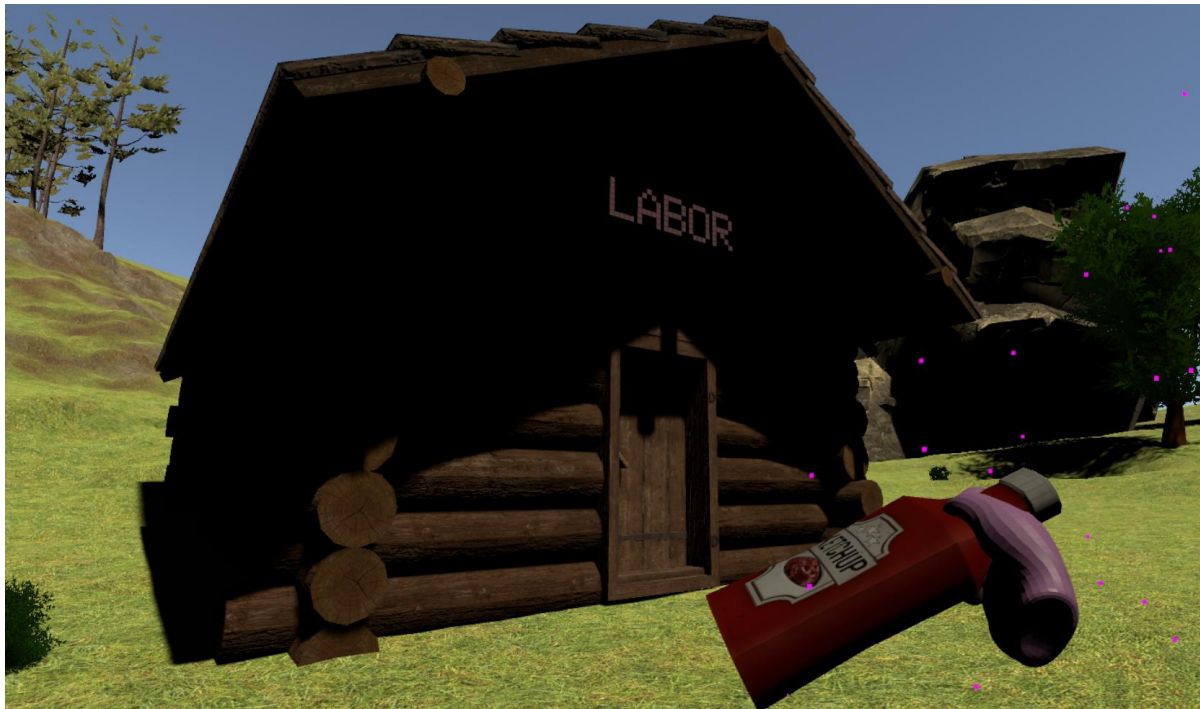


Abbildung 23: Aufgabe – Bringe die Ketchup-Flasche in das Labor. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 1 "Unterwasser"

Szene 2 – Mikrowelt

Der Schüler befindet sich innerhalb der Hütte und steht vor einer Wandtafel. Davor sind ein Hecht, ein Egli und die Ketchup-Flasche abgebildet. Eine Roboterstimme erklärt ihm, dass innerhalb des Labors die Fische und die Ketchup-Flasche in der Originalgrösse dargestellt werden (Abbildung 24). Die Grössenordnungen werden auf der Wandtafel angezeigt. Nachdem der Schüler die Gegenstände angeschaut hat, soll er durch die Tür nach draussen in die Mikrowelt gehen. Draussen sieht er ein 1000-fach vergrössertes Egli und eine ebenso grosse Ketchup-Flasche. Auf einem Sockel liegen vier Mikroplastikpartikel (Abbildung 25). Nun soll der Schüler die Partikel mit dem Fisch und der Ketchup-Flasche vergleichen, um ein Gefühl zu erhalten, wie klein Mikroplastik ist (Abbildung 26). Als nächstes soll der Schüler ein Mikroplastikpartikel im Mülleimer entsorgen. Sobald der Partikel den Boden des Mülleimers berührt, erscheint eine Leinwand und ein Button (Abbildung 27). Der Schüler wird aufgefordert, diesen zu drücken. Nun startet ein dreiminütiger Film über Plastik und die Folgen für die Umwelt (Abbildung 28). Nach dem Film wird der Schüler beauftragt, den Ausgang zu suchen (Abbildung 29). Sobald er durch die Tür geht, startet die Szene "En Guetä".



Abbildung 24: Start – Willkommen im Labor. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"

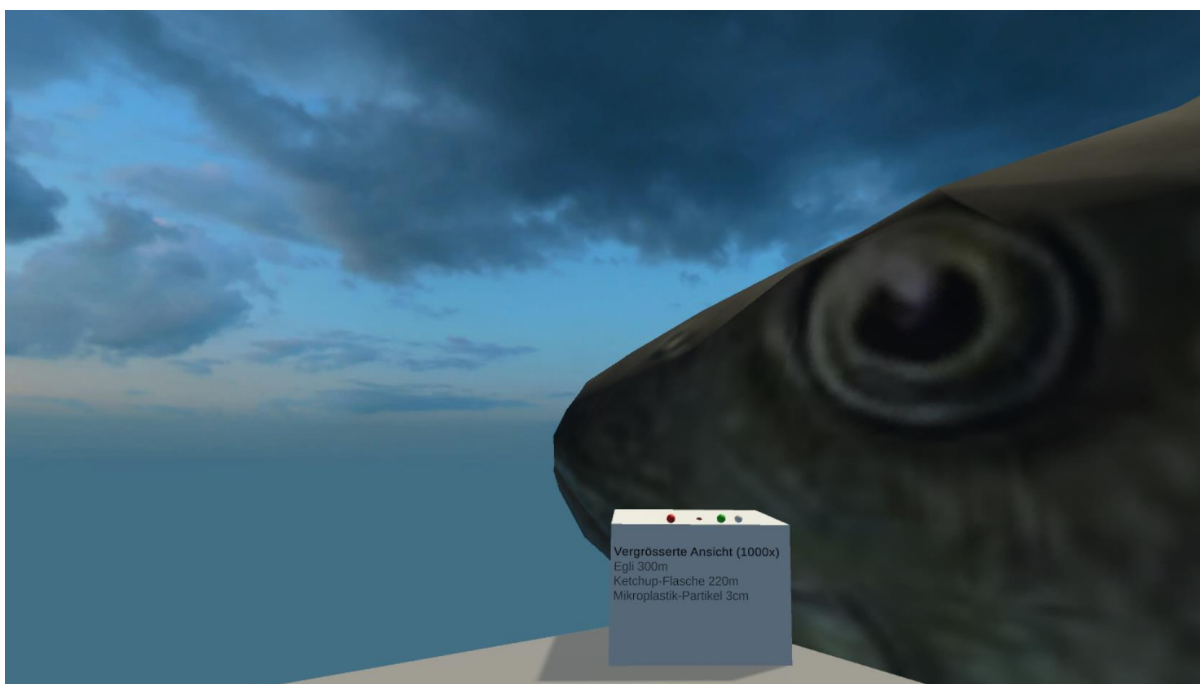


Abbildung 25: Aufgabe - Gehe nach Draussen und analysiere die Mikrowelt. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"

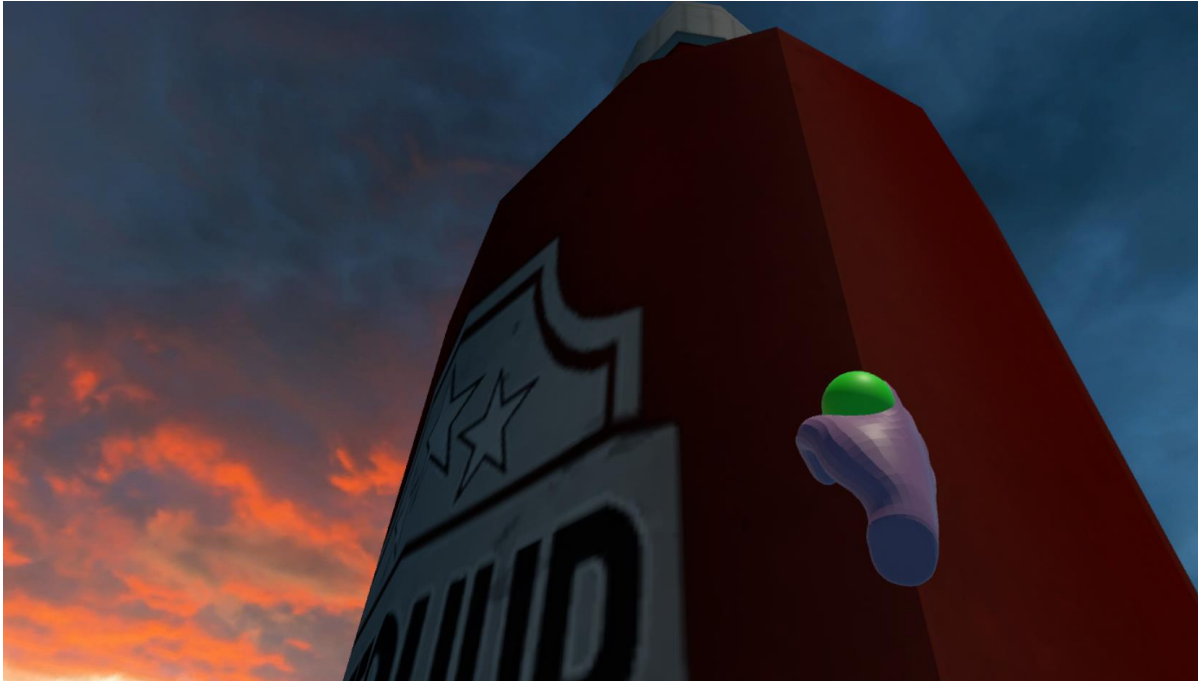


Abbildung 26: Aufgabe – Vergleich zwischen Mikroplastikpartikel und Ketchup-Flasche. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"



Abbildung 27: Aufgabe – Drücke den Button. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"

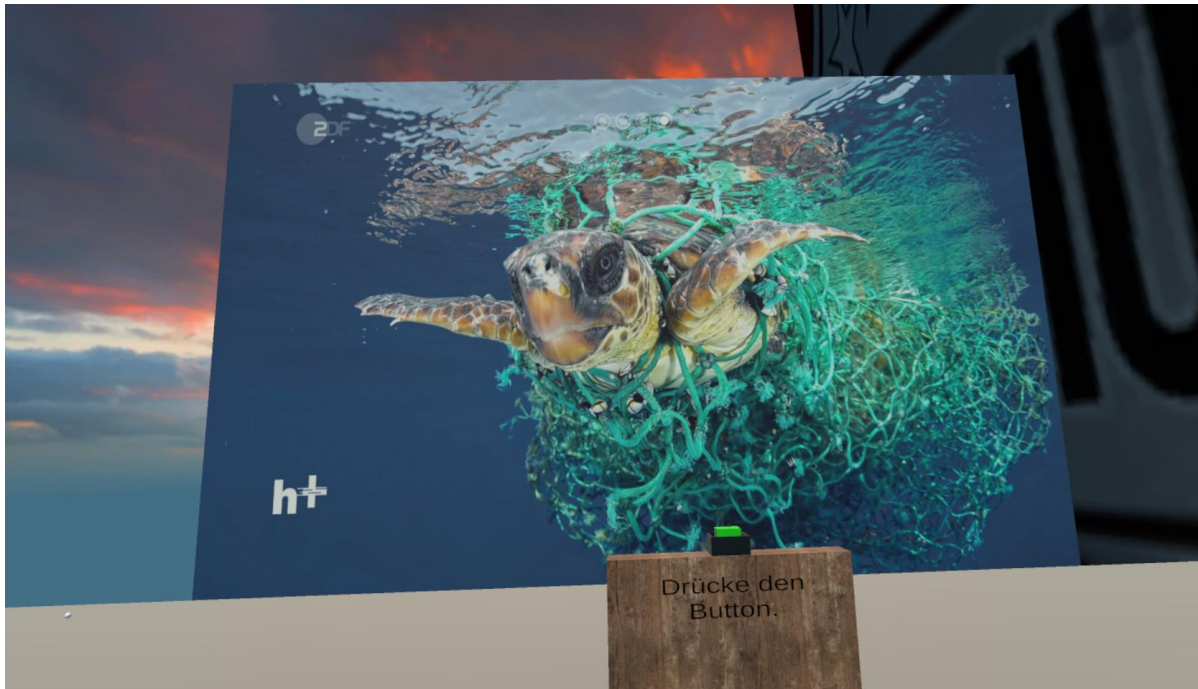


Abbildung 28: Kurzer Film über die Auswirkungen von Plastik. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"



Abbildung 29: Aufgabe – Finde den Ausgang. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 2 "Mikrowelt"

Szene 3 – "En Guetä"

Der Schüler sitzt an einem Campingtisch, welcher in der Zwischenzeit in der initialen Szene aufgebaut wurde (Abbildung 30). Der Tisch ist gedeckt und auf dem Teller des Schülers liegen zwei Fische. Die Familie des Schülers ist ebenfalls mit dabei (Abbildung 31). Der Vater sitzt auf dem Stuhl, die Mutter ist am Feuer und der Bruder tanzt zu der Musik, welche aus dem Lautsprecher erklingt. Über eine Audioausgabe erhält der Schüler die Aufgabe, den "richtigen" Fisch zu essen. Einer der Fische ist mit

den pinkfarbenen Punkten gekennzeichnet, welche die Mikroplastikpartikel darstellen (Abbildung 32). Der andere Fisch sieht hingegen normal aus. Nachdem der Schüler den Fisch ohne Mikroplastik zu seinem Mund geführt hat, wird ihm zum erfolgreichen Abschluss der Aufgabenstellung gratuliert. Er wird aufgefordert, sich umzudrehen. Auf einer nun erschienenen Wandtafel steht die Anweisung, die VR-Brille abzulegen.



Abbildung 30: Start - Gedeckter Campingtisch mit zwei Fischen im Teller. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 3 "En Guetä"

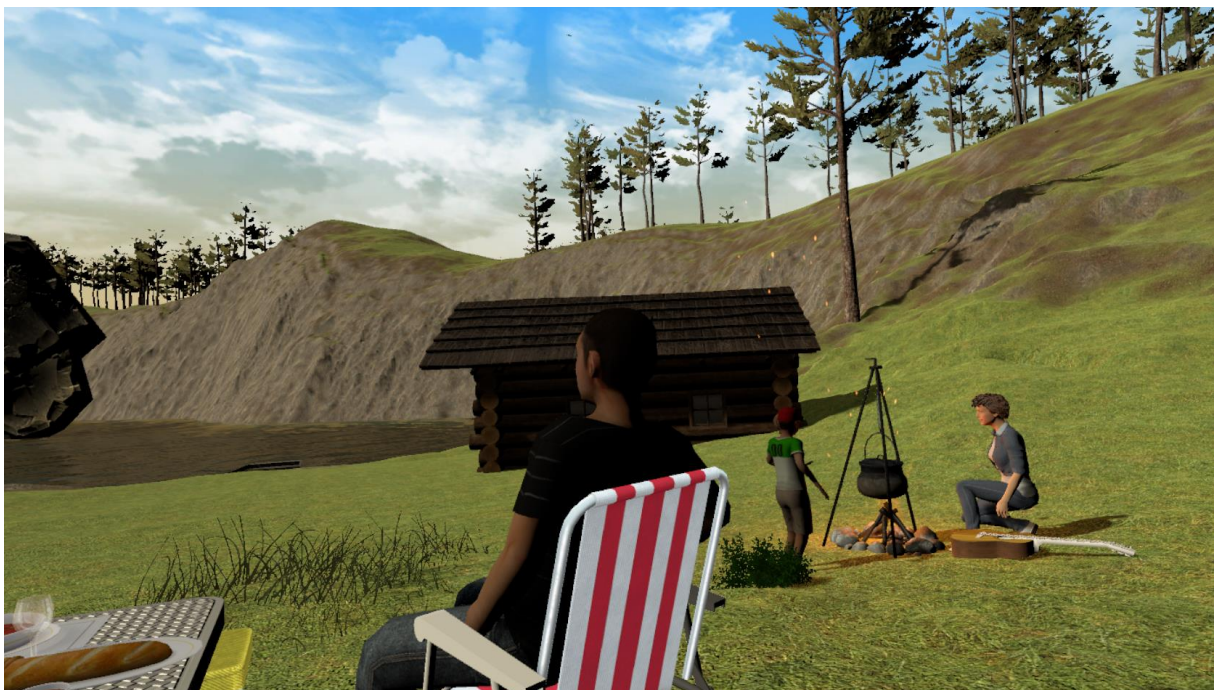


Abbildung 31: Start - Familie mit dabei, Papa im Stuhl, Mama am Feuer und Bruder am tanzen. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 3 "En Guetä"



Abbildung 32: Aufgabe - Iss den "richtigen" Fisch. Bildschirmfoto aus dem Prototypen der VR-Lernumgebung für die Szene 3 "En Guetä"

4.4 Evaluation (Learn)

Eine VR-Lösung sollte laut Jerald (2016, S. 427) hinsichtlich der Erreichung der definierten Ziele kontinuierlich überprüft werden. Die Lernumgebung wurde während der Entwicklungsphase laufend getestet und Verbesserungsvorschläge daraus wurden eingebaut (Kapitel 4.3.3). Im Rahmen eines Pilotversuchs soll der Prototyp von einer Schulklasse getestet und anhand verschiedener Kriterien bewertet werden. Im Folgenden wird zuerst der Ablauf des Pilotversuches aufgezeigt, in einem zweiten Schritt werden die Resultate der Umfrage analysiert und Erkenntnisse daraus abgeleitet.

4.4.1 Durchführung Pilot

Die Erhebung wurde am 19. April 2018 an der Sekundarschule in Meilen durchgeführt. Während 90 Minuten konnten 16 Schülerinnen und Schüler an zwei Systemen nacheinander die VR-Lernumgebung testen und im Anschluss ihre Beurteilung abgeben.

Um die Eingangskompetenzen zum Lernblock "Umweltprobleme" zu erarbeiten (Kapitel 4.1.1), erhielten die Schüler vorgängig als Hausaufgabe einen Leseauftrag zum Thema Plastik und dessen Umweltfolgen. Dieser ist im Anhang E aufgeführt und soll die im Lernblock beschriebenen Themen "Aufbau / Herstellungsprozess", "Anwendungen" und "Kunststoffkreislauf / Recycling" abdecken.

Direkt vor dem Einstieg in die VR-Lernumgebung wurden die Schüler angewiesen, die in Anhang F eingefügte Anleitung zu lesen. Neben Hinweisen zur Bedienung mit den Controllern wird darin beschrieben, wie die sogenannte Simulatorkrankheit bei der Navigation durch die VR-Welt verhindert werden kann. Diese entsteht laut Dörner (2013, S. 56) dann, wenn eine Diskrepanz zwischen den simulierten und den tatsächlich empfundenen Bewegungen besteht.

Für die Anleitung und Begleitung der Schüler wurde bei beiden VR-Stationen je eine Person eingesetzt. Kamen die Schüler bei einer Aufgabe nicht weiter, wurden sie verbal unterstützt.

4.4.2 Auswertung

Die Resultate aus der Umfrage werden anhand der fünf Fragekategorien (Kapitel 3.1.3) gegliedert. In Anhang G ist die komplette Auswertung ersichtlich.

Persönlich

Von den 16 Teilnehmenden waren 10 weiblich und 6 männlich. Der Grossteil der Schüler war zum Zeitpunkt der Befragung 14 Jahre alt. Rund 60 % hatten bereits vorher Erfahrung mit VR gesammelt, davon haben 80 % VR-Systeme an einem Event ausprobiert. 100 % der männlichen Teilnehmer und 20 % der weiblichen Teilnehmer gaben an, Videospiele zu spielen.

Immersion

Knapp 70 % der Teilnehmenden gaben an, dass die dargestellte Welt realistisch aussieht. Die restlichen 30 % bewerteten die Frage neutral oder negativ. Dieses Resultat erstaunt nicht und lässt sich wahrscheinlich auf verschiedene Gründe zurückführen. Die Auflösung der eingesetzten HTC Vive liegt bei 1080*1200 Pixeln pro Auge. Raja Koduri war bis 2017 CEO des Chipherstellers AMD. Er sagte 2016 in einem Interview, dass für ein VR-Erlebnis, welches real aussieht, eine Auflösung von 15360*8640 (16k) pro Auge notwendig ist (Garreffa, 2016). Hardware-seitig ist demnach VR noch weit von den optimalen Eigenschaften entfernt. Ein zweiter Aspekt sind die verwendeten 3D-Modelle. Hier mussten in der Arbeit verschiedene Kompromisse eingegangen werden. So wurden teilweise mangels Alternativen, Objekte mit geringer Polygonzahl verwendet.

Trotzdem hat sich das Erlebnis für 95 % der Teilnehmenden realistisch angefühlt. Hierfür könnten die detaillierte Ausschmückung der Landschaft, die Audioeffekte und die Möglichkeit, mit der virtuellen Welt zu interagieren, eine Rolle gespielt haben. Es empfiehlt sich, die genauen Gründe dafür in einer weiteren Umfrage zu erheben.

Weiter gaben 95 % der Schüler an, dass sie konzentrierter waren als im normalen Unterricht. Dies ist sicherlich dem Umstand geschuldet, dass es für sie die erste Erfahrung mit VR im schulischen Kontext war und der Pilotversuch für die Probanden ein spezielles, nicht alltägliches Ereignis darstellte. Zusätzlich waren die Schüler unter Beobachtung der beiden Systembetreuer. Mittels Langzeitstudien sollten hier verlässliche Daten gesammelt werden. Ein interessanter Ansatz könnte die Messung von Körperfunktionen, wie zum Beispiel der Herzrate, sein. Ein solcher Versuch hat die Università della Svizzera italiana in Lugano mit einem VR-Anwendungsfall im Tourismusbereich durchgeführt (Marchiori, Niforatos & Preto, 2018). Es wurde festgestellt, dass die Präsentation von Inhalten aus speziellen Blickwinkeln und die Interaktion mit animierten Objekten das Potenzial haben, das Erlebte langfristig in Erinnerung zu behalten.

Drei Teilnehmenden wurde es während dem Aufenthalt in der VR-Umgebung unwohl, eine Person musste den Versuch vorzeitig abbrechen. Dieses Resultat erstaunt nicht, beschwerten sich doch viele Benutzer beim ersten Erlebnis in einer VR-Umgebung über ein flaues Gefühl im Magen. Cobb et al. (1999, S. 183) beschreiben als mögliche Ursache dafür den Drang des Benutzers, beim ersten Mal alles zu entdecken und dadurch sehr schnelle Bewegungen auszuführen. Tatsächlich gibt es aber auch Anwender, welche auch nach mehrfacher Nutzung eines VR-Systems ein unwohltes Gefühl verspüren.

Interaktion

Knapp 90 % der Teilnehmenden gaben an, dass sie es begrüßen würden, gemeinsam mit einem Klassenkameraden in der virtuellen Welt zu lernen. Liu bezeichnet diese Möglichkeit als Social Learning (2017, S. 113).

Für einen Grossteil der Teilnehmenden war klar, wie sie die Controller bedienen sollen. Dies ist sicherlich der hohen Technologieaffinität dieser Generation geschuldet. Für über 85% der Schüler waren die Anweisungen verständlich formuliert. Nur die Hälfte gab an, dass die Anzahl der Anweisungen ausreichte. Bei dieser Beurteilung könnte die Nervosität der Schüler eine Rolle gespielt haben. Beim ersten Mal in der immersiven Welt, sind viele Anwender auf die Umgebungseindrücke und die Steuerung fokussiert. Deshalb kann es sein, dass sie den über die Tonspur vermittelten Aufträgen nicht folgen können. Die Möglichkeit, Anweisungen per Knopfdruck einzublenden, haben jedoch die wenigsten genutzt.

Die Interaktion mit den Objekten wurde von einem Grossteil der Schüler als einfach und logisch bewertet.

Lernen

Die Mehrheit der Schüler gab an, dass die VR-Lernumgebung hilfreich war, um das Thema Mikroplastik zu verstehen. Bei der Analyse dieser Frage fällt auf, dass 8 Probanden zwar aussagen, es treffe zu, aber gleichwohl nicht die maximale Bewertung ausgewählt haben. Eventuell ist dies ein Indiz dafür, wie umfassend die Schüler den Inhalt verstanden haben. Dasselbe gilt für das Resultat der Frage, ob der Grössenvergleich in der Mikrowelt dem Verständnis dienlich war. Gut 95% der Schüler wurde bewusst, dass Mikroplastik in unsere Nahrungsmittelkette gelangt.

Sowohl die Möglichkeit, sich frei zu bewegen und zu forschen, wie auch die Audiokommentare und das Video, wurden von den Schülern als verständnisfördernd bewertet. Dabei erhielt das Video die höchste Anzahl Bewertungen mit der maximalen Punktzahl.

Motivation

Gut 95 % der Schüler berichten, dass VR ihr Interesse und ihre Motivation, etwas zu Lernen, erhöhen könnte. Nur eine Person hat dies als unzutreffend markiert. Ein Grund für diese Einschätzung könnte der Kommentar dieses Teilnehmers sein, dass die VR-Brille zu schwer war.

Alle Schüler würden künftig gerne wieder in einer virtuellen Lernumgebung lernen.

Kommentare

Neben positiven Kommentaren haben jeweils zwei Schüler die Grafik und die zu wenig klaren Anweisungen als verbesserungswürdig bezeichnet.

4.5 Vorgehensmodell

Das in Abbildung 33 aufgezeigte Vorgehensmodell für die Definition, Auswahl, Entwicklung und Evaluation von VR-Lernumgebungen ist ein Artefakt dieser Arbeit. Das Modell besteht aus den drei Bereichen "Werkzeuge", "Vorgehen" und "Ziele". Es beschreibt den Prozess, wie ausgehend von der Auswahl eines Kompetenzbereichs eine VR-Lernumgebung entsteht. In den grünen Rechtecken wird dargestellt, wie über die Identifikation einer Kompetenz und die Ausarbeitung einer Lerneinheit die Vorschläge für VR-Anwendungsfälle identifiziert und ausgewählt werden. Für die Auswahl des Kompetenzbereichs wird der Lehrplan 21 konsultiert. Aufbau und Inhalt orientieren sich an der im Lehrplan beschriebenen Kompetenz. Zur Strukturierung wird die Anleitung "Unterricht kompetent planen" (Zumsteg, 2017) empfohlen. Die effektiven Inhalte der Lektion werden wenn möglich aus der Schulliteratur übernommen. In dieser Phase sind die inhaltlichen Ziele für die einzelnen Lernblöcke mittels den Taxonomiestufen nach Bloom (1976) zu definieren. Durch Kreativmethoden werden in einem nächsten Schritt Ideen für mögliche VR-Lernumgebungen erarbeitet. Dabei gilt es, die in Kapitel 2.3.2 beschriebenen Kriterien zu beachten. Für jeden Vorschlag werden die spezifischen inhaltlichen Lernziele sowie die didaktischen Ziele festgelegt. Die Bewertung der Vorschläge erfolgt anhand der in der Literatur beschriebenen Eigenschaften.

Die blauen Rechtecke beschreiben den Design-Prozess nach Jerald (2016). In der Konzeption werden die technischen Ziele erarbeitet. Weiter werden die in den vorherigen Phasen definierten inhaltlichen und didaktischen Ziele berücksichtigt. Damit soll sichergestellt werden, dass stets aus didaktischer Perspektive agiert wird. Mit Hilfe von Hardware, Software und 3D-Objekten wird der Prototyp entwickelt und anschliessend anhand der Eigenschaften und des erwarteten Nutzens von VR für die Schule evaluiert.

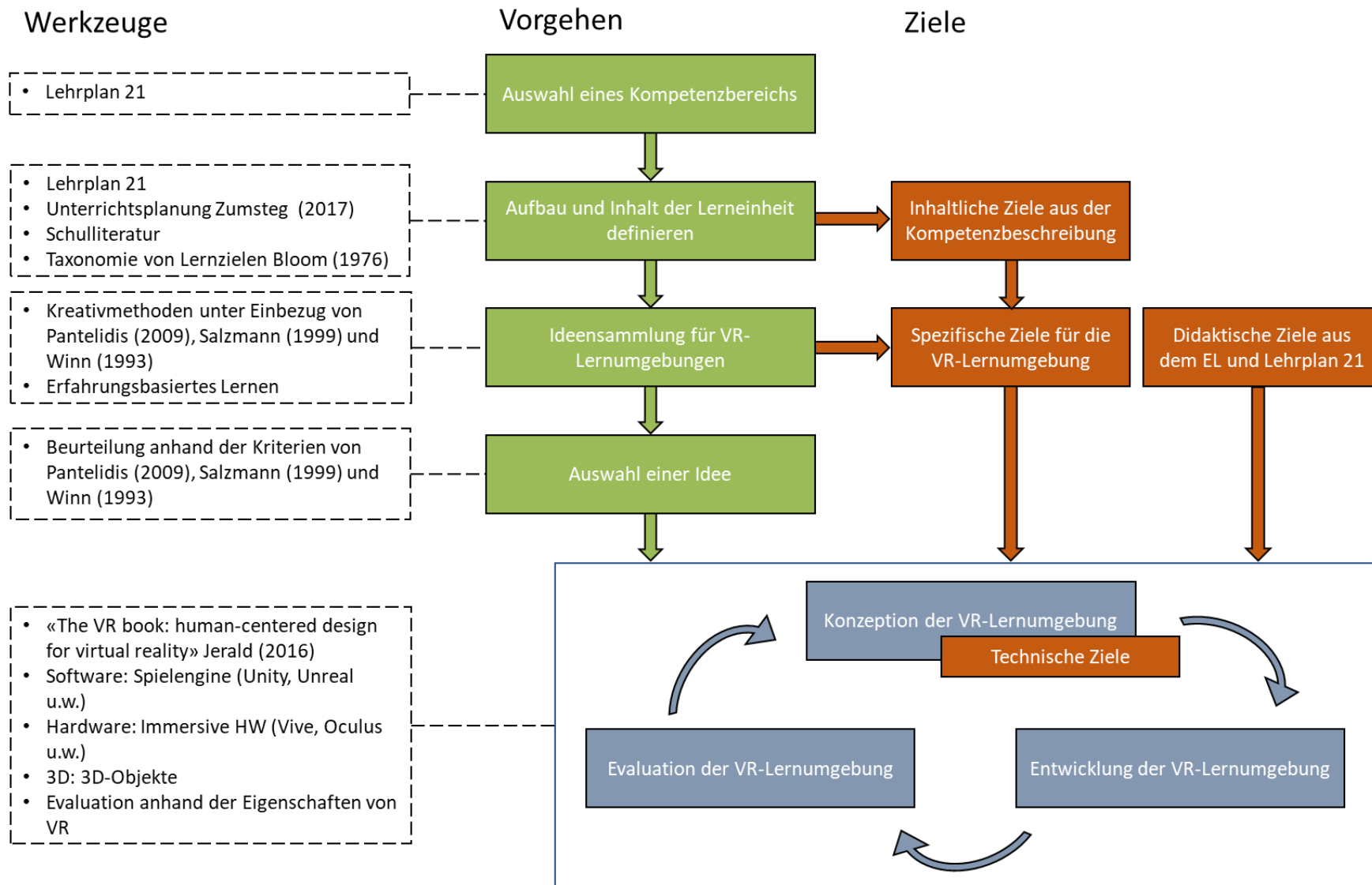


Abbildung 33: Vorgehensmodell zur Entwicklung einer VR-Lernumgebung

5 Diskussion

Welche Vorteile bringen die technischen Eigenschaften von VR? Wie geht man bei der Gestaltung einer VR-Lernumgebung vor? Welche Art von Unterrichtseinheiten eignen sich für den Einsatz von VR? Wie beurteilen die Schüler die Lektion in der VR? Können VR-Lerneinheiten an der Schweizer Volksschule einen didaktischen Mehrwert bieten? Diese Fragen werden nachfolgend anhand der Resultate dieser Arbeit diskutiert.

5.1 Technische Eigenschaften von VR für die Ausbildung

Inwiefern sich VR aufgrund der technischen Eigenschaften für den Einsatz an der Volksschule eignet, konnte anhand der Literatur aufgezeigt werden. In Kapitel 2.3.1 sind die Funktionen der Technologie den Nutzenpotenzialen für die Ausbildung gegenübergestellt. Eine Verifizierung bezüglich dieser Zusammenhänge ist durch die Evaluation der Lernumgebung nicht möglich.

In einer weiteren Studie sollten die Nutzenpotenziale in Abhängigkeit zu den VR-Funktionen überprüft werden. Es stellt sich dabei die Frage, ob es überhaupt möglich ist, die einzelnen VR-Funktionen isoliert zu betrachten.

5.2 Von der Kompetenz zur VR-Lernumgebung

Das Ziel dieser Arbeit war, der komplette Prozess von der Auswahl einer Kompetenz aus dem Lehrplan 21, über die Ausgestaltung eines Lernblocks bis hin zur Entwicklung und Evaluation eines Prototyps zu durchlaufen. Zentral war dabei, die Lerneinheit nicht aus IT-, sondern vielmehr aus einer didaktischen Perspektive aufzubauen.

Die Vision der Lerneinheit wurde hinsichtlich ihrer Kompatibilität mit didaktischen Grundsätzen von vier Lehrpersonen überprüft. Ein anderes nützliches Vorgehen wäre aus meiner Sicht, von Beginn an mit Lehrpersonen zusammen zu arbeiten und so gemeinsam eine Lerneinheit zu entwickeln. Dies könnte die Glaubwürdigkeit und Akzeptanz der Lerneinheit fördern.

Ein Grossteil der sieben VR-Anwendungsfälle wurde von den Lehrpersonen als nicht geeignet eingeschätzt. Dies ist ein Indiz dafür, dass bei der Ideensuche die sinnvollen Anwendungsbereiche von VR (Kapitel 2.3.2) beachtet werden sollen. Die Bewertung für die Auswahl des Anwendungsfalls "Umweltproblem Mikroplastik" erfolgte aufgrund der Rückmeldungen der Lehrpersonen. Ein Framework für die Beurteilung von VR-Anwendungsfällen anhand eines Kriterienkatalogs wäre für diesen Prozess ein nützliches Hilfsmittel.

Für die detaillierte Konzeption der VR-Lernumgebung hat sich der gewählte Ablauf bewährt. Die wichtigsten Artefakte aus dieser Phase stellen die Ziele und das Storyboard dar.

Sobald der rote Faden definiert wurde, sollte man meiner Meinung nach mit der Entwicklung beginnen. Der Grund dafür ist ein wesentlicher Unterschied zwischen der VR-Entwicklung und der herkömmlichen Softwareentwicklung: Bei der Erstellung von virtuellen Welten arbeitet man stets mit einer grafischen Oberfläche und kann kleinste Änderungen sofort in der Laufzeitumgebung testen. Die Parametrisierung und Entwicklung der VR-Umgebung mit Unity war intuitiv und einfach zu erlernen. Um komplexere VR-Umgebungen aufzubauen, sind C#-Kenntnisse zwingend notwendig.

Ein wesentlicher Schritt bei der Gestaltung einer VR-Lerneinheit ist die Evaluation. Während der Entwicklung wurde diese laufend durch mich und mir nahestehende Personen durchgeführt. Die

Lösung wurde vor dem Pilotversuch nicht mehr von einer Lehrperson überprüft. Dies ist als kritisch zu bewerten und sollte in künftigen Arbeiten berücksichtigt werden. Die im Storyboard definierten Ziele aus der Konzeptionsphase konnten mit der Evaluation nicht überprüft werden. In einigen Bereichen, wie beispielsweise bei der Motivation, gibt es Indizien für die Zielerreichung. Für eine verbindliche Aussage braucht es jedoch langfristige Erhebungen und ein klares Konzept, wie die Zielerreichung gemessen werden soll.

Die Arbeit liefert ein mögliches Vorgehensmodell für die Entwicklung von VR-Lernumgebungen. Dieses sollte in einer weiteren Studie falsifiziert werden. Wichtig ist dabei, nicht nur einzelne Lernumgebungen zu betrachten, sondern einen Bezug zum "Exploratory Learning Model" von De Freitas und Neumann (2009, S. 346) herzustellen. Dies wäre ein Schritt hin zu einer allgemeingültigen Heuristik für die Entwicklung von Lerneinheiten mit VR als Unterrichtshilfsmittel.

5.3 Anwendungsbereiche von VR in der Schule

Die Frage nach geeigneten Einsatzgebieten wurde anhand der Literaturrecherche und mit der Bewertung der sieben VR-Anwendungsfälle beantwortet. Die Forschung ist sich darin einig, dass VR nur dann eingesetzt werden soll, wenn es in der realen Welt keine Alternativen gibt oder diese zu gefährlich sind (Pantelidis, 2009, S. 64). Ein Grossteil der bisherigen Studien wurde, wie auch die vorliegende Arbeit, im Bereich der Naturwissenschaften durchgeführt. Hier überzeugt VR vor allem durch die Möglichkeit, verschiedene Grössenbereiche darzustellen. Es erstaunt deshalb nicht, dass der Anwendungsfall "Umweltproblem Mikroplastik" bei der Beurteilung durch die Fachpersonen die höchste Bewertung erzielt hat.

Meiner Ansicht nach kann sich ein Einsatz von VR in den naturwissenschaftlichen Fächern Mathematik, Physik, Chemie, Geografie und in den Geschichtswissenschaften als nützlich erweisen. So könnten die Schüler das Weltall entdecken, ein chemisches Experiment durchführen, die Topografie der Erde aus der Flugperspektive erkunden oder geschichtliche Szenen aus nächster Nähe erleben. VR im geometrischen Zeichnen zu verwenden, sehe ich als weitere interessante Möglichkeit. Die Schüler könnten in einem 3D-Zeichnungsprogramm Objekte erstellen und diese danach in der virtuellen Welt begutachten.

Der im Rahmen dieser Arbeit erstellte Prototyp bietet den Lehrpersonen die Chance, einen Einblick in die virtuelle Welt zu erhalten. Mit dem Schaffen eines Verständnisses für die Möglichkeiten der VR-Technologie könnten weitere Anwendungsszenarien entstehen. Eine künftige Forschungsarbeit sollte sich mit der Frage nach interessanten Anwendungsfällen im Rahmen des Lehrplans 21 beschäftigen und dazu Lehrpersonen aus verschiedenen Fachbereichen befragen.

5.4 Beurteilung durch die Schüler

Bei den Rückmeldungen muss berücksichtigt werden, dass keiner der Schüler zuvor eine VR-Lernumgebung getestet hat und der Pilotversuch ein spezielles Ereignis im Schulalltag war. Die Beurteilung fällt sehr positiv aus: Alle Teilnehmenden würde gerne weiterhin mit VR im Unterricht lernen. Erstaunlich ist, dass auch die Personen, welchen es während dem Versuch unwohl war, gerne mit der Technologie arbeiten möchten. Das positive Resultat überrascht insofern nicht, als es sich mit den Erfahrungen aus früheren Forschungsarbeiten deckt. Youngblut (1998, S. 102) schreibt dazu: "[...] there is overwhelming evidence that students enjoy both experiencing predeveloped applications and developing their own virtual worlds. Use of VR Technology seems to serve as a valuable motivating factor". Die Frage, wie lange diese erhöhte Motivation anhält, konnte in dieser Arbeit – wie auch

in den bisherigen wissenschaftlichen Studien zu diesem Thema – nicht beantwortet werden. Es fehlen Langzeiterhebungen, um die Einstellung der Schüler bei regelmässigem Einsatz der Technologie im Unterricht zu überwachen. Die Gründe für die erhöhte Motivation sind ebenfalls kritisch zu hinterfragen. Es ist wahrscheinlich, dass es den Schülern gefällt, wenn etwas Abwechslung in den Schulalltag einzieht. Da Videospiele in diesem Alter hoch im Kurs sind, ist es sicherlich nicht überraschend, wenn die Kinder auch in dieser Form lernen möchten.

Die Idee aus der Vorstudie, aus einer Customer-Journey-Map eine Lessons-Journey-Map zu erstellen und so die Befindlichkeiten der Schüler während des Aufenthalts in der virtuellen Welt zu überprüfen, wurde während der Arbeit verworfen. In einer zukünftigen Arbeit sollte anhand der Literatur aus dem Bereich der Motivation ein Instrument geschaffen werden, um diese über einen längeren Untersuchungszeitraum zu messen.

5.5 VR – ein Mehrwert für die Schweizer Volksschule?

In der Literaturanalyse wurde erläutert, welcher Nutzen durch die einzelnen Eigenschaften von VR für die Ausbildung erwartet wird (Kapitel 2.3.1). Die Technologie wird im Bereich der konstruktivistischen Lerntheorien als mögliches Werkzeug zur Unterstützung des Kompetenzaufbaus identifiziert. Um VR als integraler Bestandteil des erfahrungsbasierten Lernens zu positionieren, erweiterten De Freitas und Neumann (2009, S. 346) den Lernzyklus von Kolb um die Phase der Erforschung.

Obwohl die Resultate aus der bisherigen Forschung sowie auch aus dieser Arbeit teilweise auf einen positiven Effekt von VR für die Ausbildung hindeuten, sind sie aufgrund verschiedener Einschränkungen mit Vorsicht zu geniessen. Die meisten bisherigen Studien basieren nicht auf voll-immersiven Systemen, wie sie seit der technologischen Entwicklung in den letzten Jahren verfügbar sind. Ein weiteres Problem ist das Fehlen von Langzeitstudien. Dadurch kommt bei jeder Auswertung der Effekt der Neuartigkeit zum Tragen, was zu verbesserten Resultaten führen kann. Dies hat zur Folge, dass es nur Annahmen und Indizien für einen potenziellen Mehrwert gibt. Es kann diesbezüglich jedoch keine wissenschaftlich fundierte Aussage getroffen werden. Dede und Richards (2017, S. 237) unterstreichen, dass es einer strategischen Planung und einer kollaborativen Zusammenarbeit zwischen den Forschern bedarf, um an verlässliche Daten betreffend der Effekte von VR auf die schulische Entwicklung der Schüler zu gelangen. Konkret wird verlangt, gemeinsame Forschungslabore, Design-Heuristiken, Terminologien und Vorgehensmodelle zu schaffen. Die Aussagen der beiden Forscher decken sich mit meinen eigenen Erkenntnissen aus dieser Arbeit.

Weiter sollten die Auswirkungen des Social Learning, also des gemeinsamen Lernens in der virtuellen Welt, untersucht werden. Die meisten der befragten Schüler würden es begrüssen, zusammen mit einem Klassenkameraden in der VR zu lernen. Hier könnte in Zukunft die Möglichkeit der Telepräsenz eine wichtige Rolle spielen. So wäre es zum Beispiel möglich, dass ein Schüler aus der Romandie einen Schüler aus der Deutschschweiz virtuell durch die Stadt Genf führt. Der Französisch lernende Schüler kann so auf eine spielerische Art und Weise seine Sprachkenntnisse verbessern.

Ein wichtiger Punkt für den praktischen Einsatz ist die Handhabbarkeit eines voll-immersiven VR-Systems. Die Installation beansprucht eine beachtliche physische Fläche. In vielen Schulen dürfte diese heute kaum vorhanden sein. Hier möchte ich die Idee einbringen, die Systeme mobil zu machen und sie beispielsweise in wenig genutzten Räumen aufzustellen. Im Pilotversuch wurde dazu die Aula verwendet. Hardware-seitig ist die Investition in der Zwischenzeit auf ein auch für Endkonsumenten erschwingliches Niveau gefallen, was die Einstiegshürde sicherlich herabsetzt. Da die voll-

immersiven Systeme erst seit wenigen Jahren auf dem Markt sind, ist das Softwareangebot noch klein. Für die Distribution könnte ich mir eine Art App-Store für einzelne Lernapplikationen vorstellen, in welchem diese gemietet werden können.

Wichtige Faktoren für den Erfolg der Technologie im Klassenzimmer sind die Art der Integration von VR in den Unterricht und die Rolle der Lehrperson. Die Integration sollte aus der organisatorischen und der didaktischen Perspektive betrachtet werden. Während dem Pilotversuch hat sich gezeigt, dass die Systembetreuung viel Zeit in Anspruch nimmt. Die Einfachheit in der Bedienung ist für den Erfolg der VR-Lerneinheiten wichtig. Sind die Systeme zu kompliziert aufgebaut und nur mit erweitertem Informatikwissen zu bedienen, wird sich die Technologie kaum durchsetzen können. Ausserdem kann derzeit noch keine komplette Klasse gleichzeitig in der VR lernen. Diese Einschränkungen müssen beim Einsatz der Technologie im Schulalltag berücksichtigt werden. Aus didaktischer Perspektive sollte VR optimal in den Unterricht integriert werden. Während dem Pilotversuch wurde nicht die ganze Lerneinheit durchgeführt. Anstatt das Vorwissen mittels Frontalunterricht zu vermitteln erhielten die Schüler einen Leseauftrag. Der Lernauftrag nach dem Testversuch, welcher den Wissenstransfer gemäss dem Modell von De Freitas und Neumann (2009, S. 346) hätte sicherstellen sollen, konnte aus zeitlichen Gründen nicht durchgeführt werden.

In dieser Arbeit konnte der Mehrwert von VR für die Schweizer Volksschule nicht abschliessend evaluiert werden. Es gibt jedoch verschiedene Anzeichen, welche auf positive Effekte hindeuten. Voll-immersive VR-Systeme sind in der breiten Öffentlichkeit noch wenig bekannt. Der erstellte Prototyp kann einen wichtigen Beitrag leisten, um die Möglichkeiten von VR für die Volksschule in praktischer Art und Weise zu präsentieren.

6 Konklusion

Im diesem Kapitel werden die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst. Weiter wird erläutert, welche Erkenntnisse sich aus den Resultaten für die Wissenschaft und die Praxis ergeben. Zum Schluss folgt ein Ausblick auf die weitere Entwicklung des Themengebiets.

6.1 Zusammenfassung

Diese Arbeit untersucht den Einsatz von VR im Rahmen des Lehrplans 21 an der Schweizer Volksschule. Die Literaturanalyse hat gezeigt, dass trotz langjähriger Forschung keine fundierten Daten bezüglich der Effekte der Technologie auf die schulische Entwicklung der Kinder verfügbar sind. Man geht davon aus, dass VR durch die Möglichkeit der Immersion, der Interaktion, der 3D-Darstellung und der Möglichkeit, mehrere Perspektiven einzunehmen, mit der Lerntheorie des Konstruktivismus kompatibel ist.

Zur Untersuchung der Thematik wurde eine Vision für eine Lerneinheit im Rahmen des Kompetenzbereichs Natur und Technik 3.3 zum Thema "Plastik (Kunststoffe) und seine Auswirkungen auf die Umwelt" entwickelt. Aufgeteilt in fünf Lernblöcke soll den Schülern mit der Lerneinheit Wissen über den Aufbau, die Anwendungen, das Recycling und die Umweltfolgen mit möglichen Lösungsansätzen vermittelt werden. Zu jedem dieser Blöcke wurden in der Arbeit Ideen für mögliche VR-Anwendungsfälle entwickelt. Die Vision wurde in vier Interviews mit Lehrkräften besprochen. Dabei wurden die VR-Anwendungsfälle evaluiert und bewertet. Das für die Umsetzung ausgewählte Thema "Umweltproblem Mikroplastik" ist aktuell, passt in den Lehrplan 21 und ist kompatibel mit den für VR geeigneten Fachbereichen.

Während der Konzeptionsphase wurde der Umfang und Inhalt des Prototyps definiert. Es hat sich gezeigt, dass die Ziele und das Storyboard wichtige Voraussetzungen für die Entwicklungsphase sind. Die Kaskadierung der Ziele aus der Vision in die Konzeption und die darauffolgende Entwicklung sollen sicherstellen, dass die didaktische Perspektive stets im Zentrum steht.

Die eingesetzte Technologie auf Hardware- und Softwareebene hat sich bewährt. Unity ist ein umfassendes, sehr einfach zu erlernendes Werkzeug mit grossen Möglichkeiten. Mit minimalem Vorwissen und geringen Entwicklungskenntnissen konnte ein Prototyp konzipiert werden. Darin werden den Schülern in drei Szenen verschiedene Aufgaben gestellt. Zudem wird den Schülern mit vielfältigen Methoden, wie zum Beispiel Forschungsaufgaben oder einem Video, das Wissen zum Thema vermittelt.

Nach fünfwöchiger Entwicklungszeit wurde die Lösung von 16 Schülern der Sekundarschule Meilen getestet und bewertet. Die Resultate können aufgrund der kleinen Stichprobe nicht als wissenschaftlich relevant angesehen werden, geben aber dennoch interessante Indizien. Alle Schüler gaben an, dass der Einsatz von VR motivierend war und sie mit der Technologie gerne weiterarbeiten möchten. Aufgrund der Rückmeldungen wurde der Prototyp in einer weiteren Iteration verbessert.

6.2 Erkenntnisse für die Wissenschaft

Das Thema VR in der Schule wird in der angelsächsischen Forschung seit vielen Jahren untersucht und es besteht ein breites Verständnis über die durch den Einsatz entstehenden Möglichkeiten. Ein wichtiges Artefakt dieser Arbeit ist das Vorgehensmodell zur Auswahl, Konzeption, Entwicklung und

Evaluation von VR-Lernumgebungen. Darin wird in jedem Prozessschritt darauf geachtet, dass die didaktischen Ziele erreicht werden.

Weiter wird aufgezeigt, in welchen Fachbereichen ein Einsatz von VR sinnvoll ist. In einer Kreuztabelle ist der Zusammenhang zwischen einzelnen Funktionen von VR und dem Nutzen für die Ausbildung dargestellt.

Die aus den Interviews und der Umfrage erhobenen Daten dienen während der Arbeit als Verbesserungsvorschläge, sind aber nicht als wissenschaftlich relevant anzusehen.

6.3 Erkenntnisse für die Praxis

In dieser Arbeit konnten erste praktische Erfahrungen gesammelt werden, inwiefern VR im Rahmen des Lehrplans 21 als zusätzliches Unterrichtshilfsmittel eine Rolle spielen kann. Der entwickelte Prototyp kann interessierte Lehrpersonen beim Aufbau eines besseren Verständnisses hinsichtlich der Möglichkeiten von virtuellen Welten unterstützen. Eine verbindliche Aussage zur Wirkung von VR auf den Lernfortschritt und den Einfluss auf die Motivation kann im Rahmen dieser Arbeit nicht gemacht werden.

Die Technologie hat einen Stand erreicht, der es einer technikaffinen Lehrperson ermöglicht, VR im Unterricht einzusetzen oder selbst einen einfachen Prototyp zu entwickeln. Einschränkungen gibt es aktuell bei der Mobilität und der Bildqualität der Systeme sowie bei der Anzahl für den Unterricht geeigneten Applikationen. Die Installation verlangt einen hohen Platzbedarf. Bei den meisten Programmen kann sich nur eine Person zur gleichen Zeit in der selben virtuellen Welt aufhalten, was die Unterrichtsorganisation erschwert.

VR ist noch weit von einem flächendeckenden Einsatz an der Schweizer Volksschule entfernt. Dennoch sollten die pädagogischen Institutionen die Technologie beobachten und mit Pilotversuchen ein Verständnis für deren Möglichkeiten entwickeln.

6.4 Ausblick

Auf den ersten Blick ist es erstaunlich, dass trotz mehr als zwei Jahrzehnten der Forschung keine fundierten Aussagen über die Wirksamkeit von VR in der Schule getroffen werden können. Hierbei geht aus heutiger Sicht schnell vergessen, dass bis vor wenigen Jahren VR-Systeme teure Nischenprodukte waren und dazu keine etablierten Entwicklungsumgebungen zur Verfügung standen.

Durch den technologischen Fortschritt kann heute mit anderen Voraussetzungen geforscht werden. Das grosse Problem aller bisherigen Studien auf diesem Gebiet ist die kurze Dauer der Erhebungen. Um an verlässliche Daten zu gelangen, braucht es langfristige Untersuchungen, welche interdisziplinär von Forschern aus den Gebieten der Pädagogik, Psychologie und der Informatik geleitet werden. Die Definition von gemeinsamen Terminologien, Vorgehensmodelle und Design-Heuristiken sind dabei unerlässlich. Auch sollten VR-Lernumgebungen in der Forschung nicht länger einzeln, sondern als Teil einer kompletten Lerneinheit untersucht werden. Eine weitere Arbeit könnte sich mit möglichen Einsatzgebieten von VR im Rahmen des Lehrplans 21 befassen.

Ob VR, wie von Gartner prognostiziert, in fünf bis zehn Jahren in die Schweizer Klassenzimmer einzieht, wird sich zeigen. Treibende Faktoren dabei sind die technologische Weiterentwicklung, das Angebot von VR-Lernumgebungen aber vor allem auch die Forschung auf diesem Gebiet. Nur wenn es wissenschaftliche Studien gibt, die den langfristigen Nutzen von VR für die Schule beweisen,

werden Investitionen getätigt. Die im Rahmen dieser Arbeit erstellten Artefakte – das Vorgehensmodell und der Prototyp – können diese Forschung unterstützen.

7 Literaturverzeichnis

Agrar Koordination. (2013). Konsum Welt: Verpackung und Müllvermeidung. Zugriff am 29.4.2018.

Verfügbar unter: <http://www.going-green.info/themen/verpackung-und-muellvermeidung/>

Andresen, L., Boud, D. & Cohen, R. (2000). Experience-based learning. *Understanding adult education and training*, 2, 225–239.

Bellini, H., Chen, W., Sugiyama, M., Shin, M., Alam, S. & Takayama, D. (2016). Profiles in Innovation - Virtual & Augmented Reality. *Equity Research*.

Bitner, J. (2017). 11 Tools for VR Developers. *Lullabot - Strategy, Design, Development*. Zugriff am 2.5.2018. Verfügbar unter: <https://www.lullabot.com/articles/11-tools-for-vr-developers>

Bloom, B. S., Engelhart, M. D. & Fünier, E. (1976). *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich* (Taxonomy of educational objectives) (5. Aufl.). Weinheim : Basel : Beltz.

BMU. (2018). Umwelt im Unterricht: Materialien und Service für Lehrkräfte. Zugriff am 29.4.2018.

Verfügbar unter: <https://www.umwelt-im-unterricht.de/>

Bogner, A., Littig, B. & Menz, W. (2014). *Interviews mit Experten: eine praxisorientierte Einführung* (Qualitative Sozialforschung). Wiesbaden: Springer VS.

Bryson, S. (1993). Call for Participation. Gehalten auf der IEEE Symposium on Research Frontiers in Virtual Reality.

Burdea, G. C. & Coiffet, P. (2003). *Virtual Reality Technology* (2nd Edition.). New Jersey: John Wiley & Sons.

Calhoun Williams, K. J. (2017). Hype Cycle for Education. Gartner Group.

Cobb, S. V. G., Nichols, S., Ramsey, A. & Wilson, J. R. (1999). Virtual Reality-Induced Symptoms and Effects (VRISE). *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8 (2), 169–186.

Cohn, M. (2010). *Succeeding with agile: software development using Scrum* (The Addison-Wesley signature series). Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley.

Cruz-Neira, C., Sandin, D. J. & DeFanti, T. A. (1993). Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. *Computer Graphics*, 8.

- Csikszentmihalyi, M. (2002). *Flow - The Classic Work on How to Achieve Happiness*. London: Rider.
- Dede, C. (2009). Immersive Interfaces for Engagement and Learning. *Science*, 323 (5910), 66.
- Dede, C. & Richards, J. (2017). Conclusion—Strategic Planning for R&D on Immersive Learning. In D. Liu, C. Dede, R. Huang & J. Richards (Hrsg.), *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education* (S. 237–243). Singapore: Springer Singapore.
- D-EDK. (2016). Lehrplan 21 - Gesamtausgabe. Zugriff am 31.10.2017. Verfügbar unter: http://v-ef.lehrplan.ch/container/V_EF_DE_Gesamtausgabe.pdf
- Dörner, R., Broll, W., Grimm, P. & Jung, B. (Hrsg.). (2013). *Virtual und Augmented Reality (VR / AR)* (eXamen.press). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- de Freitas, S. & Neumann, T. (2009). The use of 'exploratory learning' for supporting immersive learning in virtual environments. *Computers & Education*, 52 (2), 343–352.
- Garreffa, A. (2016). AMD's graphics boss says VR needs 16K at 240Hz for „true immersion“. *Tweak-Town*. Zugriff am 4.5.2018. Verfügbar unter: <https://www.tweaktown.com/news/49693/amds-graphics-boss-vr-needs-16k-240hz-true-immersion/index.html>
- Gothelf, J. & Seiden, J. (2013). *Lean UX: applying lean principles to improve user experience* (The lean series) (First edition.). Beijing ; Sebastopol, CA: O'Reilly.
- Grubb, J. (2016). HTC Vive's user manual details elaborate setup process, including moving your couch. Zugriff am 7.4.2018. Verfügbar unter: <https://venturebeat.com/wp-content/uploads/2016/02/HTC-Vive.jpg?resize=1224%2C847&strip=all?strip=all>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J. & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, March 2004 (Vol. 28 No. 1), 75–106.
- Hew, K. F. & Cheung, W. S. (2010). Use of three-dimensional (3-D) immersive virtual worlds in K-12 and higher education settings: A review of the research. *British Journal of Educational Technology*, 41 (1), 33–55.

- Huang, H.-M., Rauch, U. & Liaw, S.-S. (2010). Investigating learners' attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. *Computers & Education*, 55 (3), 1171–1182.
- Jerald, J. (2016). *The VR book: human-centered design for virtual reality* (ACM books) (First edition.). New York: acm, Association for Computing Machinery.
- Keller, T. (2018). Neue Lehrkonzepte an Schulen – Aktueller Informatikeinsatz an Schulen. Zugriff am 17.5.2018. Verfügbar unter: <http://neuelehrkonzepte.ch/>
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development* (2nd Edition). Prentice Hall.
- Korgel, D. (2018). *Virtual Reality-Spiele entwickeln mit Unity® : Grundlagen, Beispielprojekte, Tipps & Tricks*. München : Hanser.
- Korn, W. (2018). Clip Project. Zugriff am 14.5.2018. Verfügbar unter: <https://www.clipproject.info/>
- Largo, R. H. (2013). *Wer bestimmt den Lernerfolg: Kind, Schule, Gesellschaft?* (Band 2). Beltz.
- Liu, D., Huang, R., Dede, C. & Richards, J. (2017). The Potentials and Trends of Virtual Reality in Education. *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education* (S. 105–130). Singapore: Springer Singapore.
- Marchiori, E., Niforatos, E. & Preto, L. (2018). Analysis of users' heart rate data and self-reported perceptions to understand effective virtual reality characteristics. *Information Technology & Tourism*, 18 (1–4), 133–155.
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W. & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29–40.
- Mikropoulos, T. A. & Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers & Education*, 56 (3), 769–780.
- Pantelidis, V. S. (2009). Reasons to use virtual reality in education and training courses and a model to determine when to use virtual reality. *Themes in Science and Technology Education*, 2, 59–70.

- Salzman, M. C., Dede, C., Loftin, R. B. & Chen, J. (1999). A model for understanding how virtual reality aids complex conceptual learning. *MIT Press Journals*, 8 (3), 293–316.
- Schroeder, R. (Hrsg.). (1993). *Virtual Reality*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schulz, C. (2013). Bildungsmappe Verpackung und Müllvermeidung. Zugriff am 29.4.2018. Verfügbar unter: http://www.going-green.info/fileadmin/dateiupload/KonsUmwelt/Bildungsmappe_III_Verpackung_und_Muellvermeidung.pdf
- Slater, M. (2003). A note on presence terminology. *Presence Connect* 3:3.
- Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1535), 3549–3557.
- Slater, M. & Wilbur, S. (1997). A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6 (6), 603–616.
- Staemmler, D. (2006). *Lernstile und interaktive Lernprogramme*. Deutscher Universitäts-Verlag.
- Streiff, H. J. (2000). *Chemie* (Lehrmittel der Interkantonalen Lehrmittelzentrale) ([Versch. Ausg.]). Zürich : Lehrmittelverlag des Kantons Zürich.
- Sutherland, I. E. (1965). The Ultimate Display. *Proceedings of IFIP Congress*, 2.
- Walker, M. J. (2017). Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017. Gartner Group.
- Winn, W. (1993). A Conceptual Basis for Educational Applications. University of Washington. Zugriff am 2.12.2017. Verfügbar unter: <http://www.hitl.washington.edu/research/education/winn/winn-paper.html>~
- Wise, W. (2017). How to pick the right authoring tools for VR and AR. *O'Reilly Media*. Zugriff am 1.5.2018. Verfügbar unter: <https://www.oreilly.com/ideas/how-to-pick-the-right-authoring-tools-for-vr-and-ar>
- Witmer, B. G. & Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7 (3), 225–240.

Youngblut, C. (1998). Educational Uses of Virtual Reality. Institute for Defense Analysis.

Zumsteg, B. (2017). *Unterricht kompetent planen: vom didaktischen Denken zum professionellen*

Handeln (7. unveränderte Auflage.). Zürich: Publikationsstelle der Pädagogischen Hochschule

Zürich.

Anhang A Fragebogen – Evaluation der VR-Lernumgebung

Die Umfrage wurde mithilfe von Google Forms durchgeführt. Die Kategorie ist in den Klammern direkt hinter der Frage ersichtlich.

Virtual Reality-Lernumgebung Mikroplastik

*Erforderlich

Vielen Dank, dass du die Virtual Reality-Lernumgebung getestet hast! Gerne möchte ich erfahren, wie du dies erlebt hast und was du verbessern würdest.

Zuerst ein paar allgemeine Fragen.

1. Was ist dein Geschlecht (Persönlich) *

weiblich / männlich

2. Was ist dein Alter? (Persönlich) *

3. Hast du bereits vorher Erfahrungen mit Virtual Reality gesammelt? (Persönlich) *

Ja / Nein

4. Falls du die vorherige Frage mit Ja beantwortet hast. Wo hast du die Erfahrung gesammelt? (Persönlich)

Ich besitze ein Virtual Reality System. / Freunde von mir besitzen ein System. / An einem Event konnte ich Virtual Reality ausprobieren. / Sonstiges: _____

5. Spielst du Videospiele? (Persönlich)*

Ja / Nein

6. Falls Ja, wie viele Stunden pro Woche verbringst du mit "Gamen" (Persönlich)?

0-2 / 2-4 / 4-6 / 6-8 / mehr als 8

Fragen zum Virtual Reality-Lernerlebnis Nun die Fragen zu deinem Aufenthalt in der virtuellen Welt.

7. War dir während oder nachdem du in der VR warst unwohl? (Immersion)*

Ja / Nein

Bitte gib bei den nächsten Fragen an, wie stark dies zutrifft. (1 trifft nicht zu – 5 trifft zu)

8. Die in der Lernumgebung dargestellte Welt sah realistisch aus. (Immersion) *

9. Das Erlebnis hat sich realistisch angefühlt. (Immersion) *

10. Ich war konzentrierter als im normalen Unterricht. (Immersion) *

11. Ich würde es begrüßen, wenn ich gemeinsam mit einem Klassenspändli durch die virtuelle Welt gehen könnte. (Interaktion) *

Fragen zu Bedienung

Bitte gib bei den nächsten Fragen an, wie stark dies zutrifft. (1 trifft nicht zu – 5 trifft zu)

12. Die Steuerung mit den beiden Controllern war leicht zu erlernen. (Interaktion) *

13. Mir war klar, wie ich mich in der virtuellen Welt bewegen konnte. (Interaktion) *

14. Die Anweisungen waren klar und verständlich. (Interaktion) *
15. Mehr Anweisungen was ich tun soll, wären hilfreich gewesen. (Interaktion) *
16. Die Bewegung (anfassen, aufheben, herumtragen) von Objekten war einfach und logisch. (Interaktion) *

Fragen zum Inhalt

Bitte gib bei den nächsten Fragen an, wie stark dies zutrifft. (1 trifft nicht zu – 5 trifft zu)

17. Die Virtual Reality-Lernumgebung hat mir geholfen, das Thema Mikroplastik zu verstehen. (Lernen) *
18. Dank dem Grössenvergleich von den Mikroplastik-Partikeln zur Ketchup-Flasche und dem Egli-Fisch verstehe ich, wie klein die sind. (Lernen) *
19. Mir wurde bewusst, dass Mikroplastik in unsere Nahrungsmittelkette gelangt. (Lernen) *
20. Die Möglichkeit mich frei zu bewegen und zu forschen half mir, das Thema zu verstehen. (Lernen) *
21. Die Audiokommentare halfen mir, das Thema zu verstehen. (Lernen) *
22. Das Video half mir, das Thema zu verstehen. (Lernen) *

Abschliessende Fragen

Bitte gib bei den nächsten Fragen an, wie stark dies zutrifft. (1 trifft nicht zu – 5 trifft zu)

23. Eine Virtual Reality-Lernumgebung an der Schule könnte meine Lernmotivation erhöhen. (Motivation) *
24. Eine Virtual Reality-Lernumgebung an der Schule könnte mein Interesse, etwas zu lernen, erhöhen. (Motivation) *
25. Ich würde künftig gerne wieder in einer virtuellen Welt lernen. (Motivation) *
26. Was würdest du verbessern?

27. Sonstige Bemerkungen?

Vielen Dank für deine Teilnahme an dem Projekt!

Anhang B Interviewleitfaden

Interviewleitfaden für die Befragung von pädagogischen Fachkräften zur Evaluation der Virtual Reality Lektions-Roadmap für den Kompetenzbereich NT3.3

Ziele:

Validierung des Konzepts VR in der Schweizer Volksschule für den Kompetenzbereich NT 3.3

- *Inhaltliche Sicht*
 - *Die Spannungsfelder, in welchen sich die Arbeit bewegt, sind aus pädagogischer Sicht korrekt/komplett erfasst.*
 - *Der inhaltliche Aufbau des Themas entspricht den Anforderungen des Lehrplans 21.*
 - *Die Lernziele sind angemessen gewählt.*
- *Didaktische Sicht*
 - *Die didaktischen Methoden sind sinnvoll gewählt.*
- *Virtual Reality*
 - *Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.*

Virtual Reality in der Schule

- *Verständnis zum heutigen Einsatz von Informatik-Hilfsmitteln in der Sekundarschule erhalten.*

Vorwissen der teilnehmenden Klasse ist geklärt.

Interviewer: Philipp Glauser

Teilnehmer:

Zeit und Ort des Interviews:

Material: Audio-Recorder, Papier, Stift

Bemerkung für den Interviewer:

Einführung

Erstmal vielen Dank für Ihre Bereitschaft, an diesem Interview teilzunehmen. Bevor wir starten, werde ich Ihnen ein paar Informationen zum Interview geben.

Audio Aufzeichnung starten.

Agenda

Vorstellungsrunde

Grobe Übersicht der Masterarbeit

Konzeptvorstellung / Interview

Nächste Schritte Planung**Vorstellung**

Philipp Glauser, Masterstudent für Wirtschaftsinformatik, Hintergrund in IT, Persönliches Interesse an VR und den Möglichkeiten hinsichtlich Ausbildung.

Vorstellung Projekt

- Virtual Reality als Technologie gibt es schon eine ganze Weile, dank der technologischen Entwicklung hat das Thema Fahrt aufgenommen.
- VR bietet die Möglichkeit, neben den Sinnen "Hören" und "Sehen" auch das "Tasten" (Haptik) zu aktivieren.
- In der Ausbildung wird VR hohes Potenzial zugeschrieben, so können zum Beispiel Herzoperation virtuell geübt werden.
- Für die Schule wird VR laut Analysten in 5-10 Jahren zum Thema. Heutiges Hauptproblem: Teure Hardware, keine Inhalte und zu schlechte Qualität.
- Mit diesem Projekt soll ein Versuch unternommen werden, wie Inhalte für einen bestimmten Kompetenzbereich aus dem Lehrplan 21 unter dem Beizug von Virtual Reality besser vermittelt werden können. Wichtig ist dabei die Sinnhaftigkeit des Konzepts, dh. es gibt keine Alternativen bzw. diese sind nicht einfach umzusetzen.
- In einem ersten Schritt wird dazu eine Vision für verschiedene VR-Anwendungen für den Themenbereich erarbeitet und validiert.
- Nach der Überprüfung der technischen Machbarkeit wird ein Prototyp entwickelt.
- Der Prototyp wird im Rahmen eines Feldversuchs getestet und die teilnehmenden Schüler befragt.

Ziel des Interviews

- Expertenwissen abfragen, ist wichtig für die Aussagekraft des Projekts
- Pädagogische Überprüfung
- Sinnhaftigkeit der Konzepte überprüft

Die Projektergebnisse werden im Web publiziert.

Dürfen wir den Namen Ihrer Schule im Bericht erwähnen, oder sollen die Informationen vertraulich behandelt werden? (ev. Review vor Veröffentlichung)

Ablauf des Gespräches: Dauer 1-1.5h

Ich werde Ihnen offene Fragen stellen, das heisst, Sie sind in Ihrer Antwort ganz frei. Erzählen Sie mir einfach, was Ihnen in den Sinn kommt und was für Sie wichtig ist. Es gibt keine falschen Antworten.

Ich werde mir während des Interviews Notizen machen. Trotzdem wäre es für uns sehr hilfreich, wenn ich das Interview auf Tonband aufnehmen könnte, damit wir sicher alle ihre Aussagen protokolliert haben. Haben Sie dagegen irgendwelche Einwände?

Bevor wir mit der ersten Frage starten: Haben Sie noch irgendwelche Fragen bezüglich des Interviews?

Legende:

kursiv geschrieben: Titel oder Meta-Informationen zum Interview, werden vom Interviewer nicht erzählt

Nach dieser kurzen Einleitung können wir nun mit den ersten Fragen starten.

1. Warm-up (5min)

Nr.	Fragen	Notizen des Interviewers	Ziel
-----	--------	--------------------------	------

1.1	Können Sie uns erzählen, welches ihr Tätigkeitsgebiet an der Schule/Institution ist?		Warm-up
1.2	Über welche Erfahrung verfügen Sie im pädagogischen Umfeld / im Umfeld NT?		Warm-up
1.3	Sind Sie technikaffin und haben Sie bereits Erfahrung mit Virtual Reality gesammelt?		Warm-up
1.4	Welche Ergebnisse aus dem Projekt Virtual Reality für die Schweizer Volksschule wären für Sie wünschenswert?		Warm-up

2. Spannungsfelder

Zuerst erkläre ich Ihnen kurz die Spannungsfelder in welchen sich die Arbeit bewegt.

Nr.	Fragen	Notizen des Interviewers	Ziel
2.1	Ist die Einteilung in die verschiedenen Spannungsfelder aus Ihrer Sicht sinnvoll und komplett?		Die Spannungsfelder in welchen sich die Arbeit bewegt sind aus pädagogischer Sicht korrekt/komplett erfasst.
2.2	Was würden Sie allenfalls verbessern?		Die Spannungsfelder in welchen sich die Arbeit bewegt sind aus pädagogischer Sicht korrekt/komplett erfasst.
2.3	Über welches Vorwissen verfügen die Schüler in dem Kompetenzbereich NT?		Vorwissen der teilnehmenden Klasse ist geklärt.

3. Lernblöcke / Aufbau der Lektion

Bei den nächsten Fragen geht es um die verschiedenen Lernblöcke, welche im Rahmen des NT 3.3 Kompetenzbereichs behandelt werden sollen.

Nr.	Fragen	Notizen des Interviewers	Ziel
3.1	Wurden die Lernziele sinnvoll gewählt?		Die Lernziele sind angemessen gewählt.
3.2	Was würden Sie allenfalls verbessern?		Die Lernziele sind angemessen gewählt.

			sen gewählt.
3.3	Ist die Unterteilung in die vorgeschlagenen Lernblöcke sinnvoll?		Der inhaltliche Aufbau des Themas entspricht den Anforderungen des Lehrplan 21.
3.4	Was würden Sie allenfalls verbessern?		Der inhaltliche Aufbau des Themas entspricht den Anforderungen des Lehrplan 21.

4. Virtual Reality Konzepte

Die folgenden Fragen drehen sich um die vorgestellten Virtual Reality-Konzepte. Es geht hier darum, die Sinnhaftigkeit zu überprüfen. Zusätzlich soll der Aufbau und Ablauf jedes Konzepts besprochen und falls möglich und notwendig verbessert werden. Hier stehen neben den Inhalten vor allem die didaktischen Mittel im Vordergrund.

4.1. Generelle Fragen

Nr.	Fragen	Notizen des Interviewers	Ziel
4.1.1	Finden Sie den generellen Aufbau der Konzepte sinnvoll und sind die präsentierten Informationen mit dem Lehrplan 21 konform?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert und bewertet.
4.1.2	Haben Sie evtl. eine Idee für einen weiteren Einsatz von VR in diesem Kompetenzbereich?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert und bewertet.

4.2 Herstellprozess/Aufbau

Nr.	Fragen	Notizen des Interviewers	Ziel
4.2.1	Finden Sie das vorgestellte Konzept sinnvoll? Empfinden Sie den Einsatz von Virtual Reality dabei als Mehrwert?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.2.2	Was würden Sie an dem Konzept anpassen/verbessern?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.2.3	Wie bewerten Sie das Konzept aus didaktischer Sicht?		Die didaktischen Methoden

			sind sinnvoll gewählt.
--	--	--	------------------------

4.3 Transportwege

Nr.	Fragen	Notizen des Interviewers	Ziel
4.3.1	Finden Sie das vorgestellte Konzept sinnvoll? Empfinden Sie den Einsatz von Virtual Reality dabei als Mehrwert?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.3.2	Was würden Sie an dem Konzept anpassen/verbessern?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.3.3	Wie bewerten Sie das Konzept aus didaktischer Sicht?		Die didaktischen Methoden sind sinnvoll gewählt.

4.4 Welt ohne Plastik

Nr.	Fragen	Notizen des Interviewers	Ziel
4.4.1	Finden Sie das vorgestellte Konzept sinnvoll? Empfinden Sie den Einsatz von Virtual Reality dabei als Mehrwert?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.4.2	Was würden Sie an dem Konzept anpassen/verbessern?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.4.3	Wie bewerten Sie das Konzept aus didaktischer Sicht?		Die didaktischen Methoden sind sinnvoll gewählt.

4.5 Recycling

Nr.	Fragen	Notizen des Interviewers	Ziel
4.5.1	Finden Sie das vorgestellte Konzept sinnvoll? Empfinden Sie den Einsatz von Virtual Reality dabei als Mehrwert?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.5.2	Was würden Sie an dem Konzept anpassen/verbessern?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.5.3	Wie bewerten Sie das Konzept aus didaktischer Sicht?		Die didaktischen Methoden sind sinnvoll gewählt.

4.6 Umweltprobleme Einstieg

<i>Nr.</i>	<i>Fragen</i>	<i>Notizen des Interviewers</i>	<i>Ziel</i>
4.6.1	Finden Sie das vorgestellte Konzept sinnvoll? Empfinden Sie den Einsatz von Virtual Reality dabei als Mehrwert?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.6.2	Was würden Sie an dem Konzept anpassen/verbessern?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.6.3	Wie bewerten Sie das Konzept aus didaktischer Sicht?		Die didaktischen Methoden sind sinnvoll gewählt.

4.7 Umweltproblem Mikroplastik

<i>Nr.</i>	<i>Fragen</i>	<i>Notizen des Interviewers</i>	<i>Ziel</i>
4.7.1	Finden Sie das vorgestellte Konzept sinnvoll? Empfinden Sie den Einsatz von Virtual Reality dabei als Mehrwert?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.7.2	Was würden Sie an dem Konzept anpassen/verbessern?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.7.3	Wie bewerten Sie das Konzept aus didaktischer Sicht?		Die didaktischen Methoden sind sinnvoll gewählt.

4.8 Spiel Verminderung Plastikkonsum

<i>Nr.</i>	<i>Fragen</i>	<i>Notizen des Interviewers</i>	<i>Ziel</i>
4.8.1	Finden Sie das vorgestellte Konzept sinnvoll? Empfinden Sie den Einsatz von Virtual Reality dabei als Mehrwert?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.8.2	Was würden Sie an dem Konzept anpassen/verbessern?		Die vorgeschlagenen VR-Konzepte sind validiert.
4.8.3	Wie bewerten Sie das Konzept aus didaktischer Sicht?		Die didaktischen Methoden sind sinnvoll gewählt.

Wir sind nun fast am Ende des Interviews und ich habe nur noch wenige Fragen.

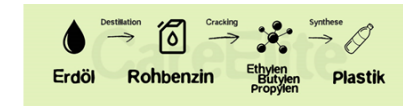
5. Closing questions

<i>Nr.</i>	<i>Fragen</i>	<i>Notizen des Interviewers</i>	<i>Ziel</i>
5.1	Inwieweit werden Informatikmittel heute in ihrer Schule eingesetzt? Welches Budget ist dafür vorgesehen?		Verständnis zum heutigen Einsatz von Informatik-Hilfsmittel in der Sekundarschule erhalten.
5.2	Haben alle Schüler aus der für die Befragung vorgesehenen Klasse ein Smartphone?		Verständnis zum heutigen Einsatz von Informatik-Hilfsmittel in der Sekundarschule erhalten.
5.4	Haben Sie Fragen oder Bemerkungen zum Projekt?		Closing interview

Danke vielmals für die Teilnahme an diesem Interview und Ihre Antworten. Die Antworten aus den verschiedenen Interviews werden in das Detailkonzept für die Umsetzung einfließen. Danach werden die Konzepte auf ihre technische Umsetzbarkeit überprüft und mit der Entwicklung begonnen. Mitte April sollen dann die Erhebungen an der Sekundarschule Meilen stattfinden. Haben Sie Interesse an dem Abschlussbericht? Einen schönen Tag!

Anhang C 7 Virtual Reality Anwendungsfälle

1 – Herstellungsprozess / Aufbau



Idee	Am Beispiel einer PET-Flasche wird die Kunststoffherstellung mittels 3D-Animation aufgezeigt. Die SchülerInnen nehmen dabei eine aktive Rolle ein. Sie können in den verschiedenen Phasen selbst mitwirken und so den Herstellungsprozess erleben. VR erlaubt ihnen dabei verschiedene Blickwinkel einzunehmen.	
Aufbau und Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die SchülerInnen sehen zum Einstieg ein «Kochrezept» mit den Rohstoffen und Substanzen, welche für die Herstellung benötigt werden. Die Substanzen sind auf einer Ablagefläche (z.B. Tisch) aufgestellt. Ein Klick auf die Substanz öffnet Hintergrundinformationen dazu (statisch Text/Bilder oder dynamisch mit Video). 2. Mit Hilfe des Kochrezepts sollen die SchülerInnen die Substanzen mischen. Dazu können sie diese auswählen und in eine Mischmaschine bewegen. 3. Wurde die korrekte Mischung gewählt wird eine Animation aktiviert. Diese zeigt wie der industrielle Herstellungsprozess von PET-Flaschen aussieht. Die Schülerinnen begleiten diesen Prozess aus verschiedenen Perspektiven. Denkbar wäre hier zum Beispiel, dass man den Prozess aus Sicht eines einzelnen Bestandteils der Flasche verfolgen kann – so zum Beispiel aus Sicht eines Rohstoffs. 4. Am Ende sehen die Schülerinnen das fertige Produkt. 	
Mehrwert durch VR	<ul style="list-style-type: none"> • Die Transformation der einzelnen Rohstoffe von Plastik zum fertigen Produkt kann aus verschiedenen Blickwinkeln dargestellt werden – die Schülerinnen werden Teil des Prozesses. • Das Mischen der Substanzen ist spielerisch möglich. 	
Didaktische Methoden	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung von Selbststeuerung und von Lernstrategien. • Aktive Auseinandersetzung mit dem Thema. • Einbezug von Spielelementen. • Involvierung der ganzen Person – Geist, Gefühle und Sinne. 	
Vorwissen	<ul style="list-style-type: none"> • Basiswissen «Was sind Kunststoffe». • Geschichte der Kunststoffe. 	
Aktivitäten	Lehrperson <ul style="list-style-type: none"> • Vermittlung der Vorwissen • Kommunikation der Lernziele • Abfrage des Wissensgewinns nach der VR-Anwendung. 	SchülerInnen <ul style="list-style-type: none"> • Selbstständiges Bearbeiten des Themas in der virtuellen Welt.
Lern-evaluation	<ul style="list-style-type: none"> • Mittels konventionellen Methoden. 	



2 – Transportwege

Idee	Substanzen zur Kunststoffherstellung werden verteilt über die ganze Welt abgebaut und daraus Zwischenprodukte hergestellt. Diese globale Lieferkette soll virtuell dargestellt werden. Die SchülerInnen sehen auf einem virtuellen Globus, in welchen Ländern die Rohstoffe abgebaut und wie diese in Fabriken zur Herstellung von Zwischen- oder des Endprodukts transportiert werden. In der Steuerung sind sie dabei frei.	
Aufbau und Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Einleitend befinden sich die SchülerInnen in einem Raum mit einem Kleiderständer. Daran hängt ein Kapuzenpullover aus Polyester. Die SchülerInnen können darauf klicken. 2. In einer kurzen Video-Sequenz (Animation) wird die Zusammensetzung der Kleids erläutert. 3. Nun befinden sich die SchülerInnen vor einem virtuellen Globus. Länder aus welchen die Rohstoffe herkommen sind mit einem Symbol für Verarbeitung markiert, Länder mit Produktion mit einer Fabrik. Die SchülerInnen können auf dem Globus frei navigieren und die Symbole anklicken. Werden diese angeklickt, erhalten sie Informationen zu der Substanz oder der Produktion. 4. Auf der Ebene des Globus gibt es die Möglichkeit einer Simulation des Warenflusses. Dazu wechselt der Globus in die Form einer rechteckigen Weltkarte. Mit Pfeilen und Symbolen für das entsprechende Transportmittel werden die Warenflüsse illustriert. Zusätzlich könnte man im Unterricht noch analysieren, welchen Effekte die globalen Warenflüsse auf die Umwelt haben. <p>Mögliche Transferaufgabe: Die Distanzen der Transportwege mit anderen Distanzen vergleichen.</p>	
Mehrwert durch VR	<ul style="list-style-type: none"> • Die komplexen, globalen Prozesse können mittels VR übersichtlich dargestellt werden. Die SchülerInnen haben ausserdem die Möglichkeit einzelne Länder bzw. Abbau- und Produktionsstätten virtuell zu besuchen. • Warenflüsse können in eigenem Tempo analysiert werden. 	
Didaktische Methoden	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung von Selbststeuerung und von Lernstrategien. • Aktive Auseinandersetzung mit dem Thema. 	
Vorwissen	<ul style="list-style-type: none"> • Basiswissen «Was sind Kunststoffe». • Geschichte der Kunststoffe. • Aufbau und Herstellung von Kunststoffen. 	
Aktivitäten	Lehrperson <ul style="list-style-type: none"> • Vermittlung der Vorwissen • Kommunikation der Lernziele • Abfrage des Wissensgewinns nach der VR-Anwendung 	SchülerInnen <ul style="list-style-type: none"> • Selbstständiges Bearbeiten des Themas in der virtuellen Welt.
Lern-evaluation	Mittels konventionellen Methoden.	



3 – Welt ohne Plastik

Idee	Die SchülerInnen befinden sich in einem typischen Teenager-Zimmer. Ihnen soll aufgezeigt werden, welche Gegenstände Kunststoffe enthalten. Zusätzlich können sie die einzelnen Gegenstände anklicken und nachlesen, welche Kunststoffe bei der Herstellung verwendet wurden.	
Aufbau und Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die SchülerInnen starten in einem normalen Teenager-Zimmer. Sie können sich darin frei bewegen und Schränke und Schubladen öffnen. 2. Auf dem Bürotisch steht eine magische Kiste. Die SchülerInnen erhalten die Aufgabe alle Gegenstände welche ganz oder teilweise aus Kunststoff in der Kiste zu platzieren. Es gibt dabei eine Abstufung in der Höhe des Kunststoffanteils. 3. Wenn sie das Gefühl haben, sie hätten alle Gegenstände gesammelt. Können sie einen Button drücken. Nun werden die Gegenstände mit Kunststoff farbig markiert 4. Die SchülerInnen erhalten eine Bewertung, wie gut sie sich mit Kunststoff-Gegenständen auskennen. <p>Zusätzlich gibt es zu jedem Kunststoff-Gegenstand ein Fragezeichen. Mit einem Klick darauf können Informationen hinsichtlich der Zusammensetzung abgerufen werden. Eine Alternative wäre hier, dass die SchülerInnen die Gegenstände nehmen und in eine magische Kiste werfen. Nun werden ihnen die einzelnen Bestandteile des Gegenstands erläutert.</p>	
Mehrwert durch VR	<ul style="list-style-type: none"> • VR bietet die Möglichkeit, dass alle SchülerInnen gleichzeitig ein solches Vorher/Nachher-Szenario erleben können. • Spielerische Auseinandersetzung mit dem Thema 	
Didaktische Methoden	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung von Selbststeuerung und von Lernstrategien. • Aktive Auseinandersetzung mit dem Thema. • Einbezug von Spielelementen. • Involvierung der ganzen Person – Geist, Gefühle und Sinne 	
Vorwissen	<ul style="list-style-type: none"> • Basiswissen «Was sind Kunststoffe». • Geschichte der Kunststoffe. • Aufbau und Herstellung von Kunststoffen. 	
Aktivitäten	Lehrperson <ul style="list-style-type: none"> • Vermittlung der Vorwissen • Kommunikation der Lernziele • Abfrage des Wissensgewinns nach der VR-Anwendung 	SchülerInnen <ul style="list-style-type: none"> • Selbstständiges Bearbeiten des Themas in der virtuellen Welt.
Lern-evaluation	Mittels konventionellen Methoden. / Bewertung aufgrund der Punktezahl der identifizierten Gegenstände.	



4 – Recycling

Idee	Am Beispiel einer PET-Flasche sollen die verschiedenen Prozessschritte des Recyclings aufgezeigt werden. Die Zerlegung in die einzelnen Bestandteile kann durch die SchülerInnen gesteuert werden. Gestartet wird mit einem kleinen Spiel, in welchem die SchülerInnen entscheiden müssen, welche Gegenstände recyclebar sind und welche nicht.	
Aufbau und Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die SchülerInnen stehen vor einem Förderband. Darauf kommen ihnen diverse Kunststoff-Gegenstände entgegen, welche sie nun korrekt nach verschiedenen Kunststoffkategorien sortieren müssen. Das Förderband wird dabei immer schneller. Nachdem der Timer abgelaufen ist geht es weiter zu Schritt 2. 2. Die SchülerInnen stehen in der Mitte des Recyclingkreislaufs. Sie sehen die einzelnen Prozessschritte mit den dazu verwendeten Maschinen. 3. Nun starten sie beim ersten Prozessschritt. Mittels Animation und Audio-Information wird ihnen jede Station im Prozess genauer erläutert. Dabei können sie verschiedene Perspektiven einnehmen (Perspektive Vogel / PET-Flasche) 4. Am Schluss sehen die SchülerInnen das durch den Recycling-Prozess entstandene neue Produkt. 	
Mehrwert durch VR	<ul style="list-style-type: none"> • Spielerische Komponente was kann ich wie recyceln. • Die Transformation aus dem fertigen Produkt, in verschiedene Bestandteile und zurück zum fertigen Produkt kann aufgezeigt werden. 	
Didaktische Methoden	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung von Selbststeuerung und von Lernstrategien. • Aktive Auseinandersetzung mit dem Thema. • Einbezug von Spielelementen. • Involvierung der ganzen Person – Geist, Gefühle und Sinne 	
Vorwissen	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau und Herstellung • Anwendungen • Verschiedene Kunststoffe und ihre Bezeichnung • Einführung, welche Kunststoffe sind recyclebar. 	
Aktivitäten	Lehrperson <ul style="list-style-type: none"> • Vermittlung der Vorwissen • Kommunikation der Lernziele • Abfrage des Wissensgewinns nach der VR-Anwendung 	SchülerInnen <ul style="list-style-type: none"> • Selbstständiges Bearbeiten des Themas in der virtuellen Welt. • Anwendung des Recycling-Gedankens auf andere Stoffe
Lern-evaluation	Mittels konventionellen Methoden. / Bewertung aufgrund der Punktezahl der identifizierten Gegenstände.	

5 – Umweltprobleme Einstieg



Idee	Das globale Problem der Umweltverschmutzung wird den SchülerInnen anhand von 360°-Videosequenzen gezeigt. Die SchülerInnen nehmen dabei verschiedene Perspektiven ein. In einem zweiten Schritt wird ihnen ein Vergleich der Müllmengen gezeigt. Alternative Idee: Spielerischer Aufbau, die Verschmutzung am Strand wird aufgrund des Verhaltens (z.B. Einkaufsverhaltens) der SchülerInnen gesteuert.	
Aufbau und Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die SchülerInnen befinden sich an einem schönen Strand. Die Kamera bewegt sich zu einer Stelle weiter vorne am Strand. Plötzlich befinden sie sich in Mitten von Plastikmüll. 2. Von der ersten Szene können die SchülerInnen sich in einen Schweizer Supermarkt beamen, wo gezeigt wird, wie viele Produkte in Plastik eingepackt sind. 3. Es wird einer Gruppe Jugendlicher gefolgt, die für eine Grillparty einkaufen und danach zum Fluss spazieren. Der Müll wird liegen gelassen bzw. neben der Mülltonne entsorgt (da diese voll ist). 4. Es kommt ein Unwetter und der Plastik fliegt in den Fluss. 5. Aus der Perspektive eines Plastiksacks begleitet man die Fahrt auf dem Fluss. Bis der Sack im Meer ankommt. 6. Hier reiht er sich in die Gegenstände des bereits am Strand liegenden Mülls ein. 7. In einer Animation wird den SchülerInnen aufgezeigt, wie viel Müll ein Schweizer Haushalt im Schnitt pro Jahr braucht. Diese Menge wird mit den Abfallberg verglichen, welcher an Grossanlässen anfällt. 	
Mehrwert durch VR	<ul style="list-style-type: none"> • Durch die Aufnahmen mit 360°-Videos stehen die SchülerInnen mitten im Problem und sehen das Ausmass der Verschmutzung. • Es können verschiedene Perspektiven eingenommen werden. 	
Didaktische Methoden	<ul style="list-style-type: none"> • Aktive Auseinandersetzung mit dem Thema. • Involvierung der ganzen Person – Geist, Gefühle und Sinne 	
Vorwissen	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau und Herstellung • Anwendungen 	
Aktivitäten	Lehrperson <ul style="list-style-type: none"> • Vermittlung der Vorwissen • Kommunikation der Lernziele • Weitere Ausführungen zur Verschmutzung der Umwelt. 	SchülerInnen <ul style="list-style-type: none"> • Selbstständiger Wissensaufbau zu dem Thema in der virtuellen Welt.
Lern-evaluation	Mittels konventionellen Methoden.	

6 – Umweltproblem Mikroplastik



Idee	Die SchülerInnen befinden sich in einem Schweizer Gewässer. Sie können sich unter der Wasseroberfläche frei bewegen und sehen die beeindruckende Artenvielfalt. In der Unterwasserwelt gibt es zwei Ebenen, die normale und die der Mikroorganismen. Die SchülerInnen sehen wie klein Mikroplastik ist und wie er durch unsere Gewässer schwebt. Mit einem Klick auf die Partikel werden Infos über Mikroplastik angezeigt.	
Aufbau und Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die SchülerInnen befinden sich in einem Schweizer Gewässer und können sich darin frei bewegen (tauchen). 2. Gestartet wird in Ebene 1 – die Lebewesen werden in der normalen Grösse angezeigt. Es schwimmen Fische umher. Es gibt Pflanzen und eine Ente die taucht. Optional: Die SchülerInnen können die Lebewesen anwählen und erhalten so Informationen dazu. 3. Nun müssen die SchülerInnen einen hinter einer Pflanze versteckten Plastikgegenstand suchen. Wenn sie diesen anklicken kommen sie in Ebene 2 – die Mikroebene. 4. Neben kleinen pflanzlichen Mikroorganismen und Insektenlarven sehen die SchülerInnen Unmengen von kleinen Plastikkugeln – dem Mikroplastik. 5. Mit einem Schieberegler können sie zwischen den Ebenen hin und her zoomen. So erkennen sie wie klein Mikroplastik ist. Ausserdem wurden gewisse Fische nun transparent, man kann in ihrem Körper Mikroplastik erkennen. 6. Ein Button der nach Ebene 2 auftaucht ermöglicht es das Info-Tutorial zu Mikroplastik zu öffnen. Darin wird neben Statistiken zur Verschmutzung aufgezeigt, welche verschiedenen Varianten von Mikroplastik es gibt und wie diese in die Umwelt gelangen. <p>Zusätzlich könnte man im Unterwasserbereich auf Ebene 1 das Problem von Plastik in der Nahrungskette zeigen. Kleiner Fisch frisst Pflanze mit Mikroplastik Partikel. Grosser Fisch frisst kleinen Fisch. Mensch isst grossen Fisch.</p>	
Mehrwert durch VR	<ul style="list-style-type: none"> • Die Dimension von Mikroplastik im Verhältnis zu Lebewesen im Wasser kann aufgezeigt werden. • Die SchülerInnen können die Unterwasserlandschaft selbstständig entdecken. 	
Didaktische Methoden	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung von Selbststeuerung und von Lernstrategien. • Aktive Auseinandersetzung mit dem Thema. • Einbezug von Spielelementen. • Involvierung der ganzen Person – Geist, Gefühle und Sinne 	
Vorwissen	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau und Herstellung • Anwendungen • Umweltprobleme von Makroplastik 	
Aktivitäten	Lehrperson <ul style="list-style-type: none"> • Vermittlung der Vorwissen • Kommunikation der Lernziele • Weitere Ausführungen zur Verschmutzung der Umwelt. 	SchülerInnen <ul style="list-style-type: none"> • Selbstständiges Bearbeiten des Themas in der virtuellen Welt.
Lern-evaluation	Mittels konventionellen Methoden.	



7 – Spiel Verminderung Plastikkonsum

Idee	Die SchülerInnen sollen ihr Konsumverhalten virtuell üben. Dazu stehen sie in einem Lebensmittelgeschäft mit vielen verschiedenen Artikeln. Sie erhalten einen Einkaufszettel und sollen möglichst plastikfrei einkaufen.	
Aufbau und Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die SchülerInnen befinden sich in einem Lebensmittelgeschäft und haben einen Einkaufszettel vor sich. 2. Jedes einzukaufende Produkt ist in verschiedenen Varianten verfügbar. Die SchülerInnen sollen dasjenige mit dem ihrer Meinung nach geringsten ökologischen Fussabdruck (in Bezug auf Plastikkonsum) auswählen. 3. Am Ende gibt es eine Bewertung (Ranking von 1-5 vom Öko-Warrior bis zum Plastiksünder) – ihnen soll aufgezeigt werden wieviel Plastik sie dank ihrem Einkauf eingespart haben und was dies bedeutet. 	
Mehrwert durch VR	<ul style="list-style-type: none"> • Die SchülerInnen lernen spielerisch, welchen Einfluss ihre Einkaufsentscheidungen auf den Planeten haben. • Möglichkeit sich im virtuellen Lebensmittelgeschäft zu bewegen. 	
Didaktische Methoden	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung von Selbststeuerung und von Lernstrategien. • Aktive Auseinandersetzung mit dem Thema. • Einbezug von Spielelementen. • Involvierung der ganzen Person – Geist, Gefühle und Sinne 	
Vorwissen	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau und Herstellung • Anwendungen • Umweltprobleme von Makroplastik • Lösungen und Visionen für Plastikrecycling 	
Aktivitäten	Lehrperson <ul style="list-style-type: none"> • Vermittlung der Vorwissen • Kommunikation der Lernziele • Weitere Ausführungen zur Verschmutzung der Umwelt. 	SchülerInnen <ul style="list-style-type: none"> • Selbstständiges Bearbeiten des Themas in der virtuellen Welt.
Lern-evaluation	Evtl. durch Bewertung aufgrund des Einkaufs.	

Anhang D Erkenntnisse aus Interviews – Vision VR Lektion NT3.3 - Zusammenfassung

In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den Gesprächen mit den Lehrpersonen hinsichtlich der Bewertung der Vision zusammengefasst. Zu jedem Verbesserungsvorschlag wird dabei beschrieben, ob und wie dieser in die überarbeitete Version der Vision eingeflossen ist. Die Kritik wird für die Beurteilung der VR-Anwendungsfälle verwendet.

1.1 Interview Martin Aebi – Sekundarschule Meilen

Institution	Sekundarschule Meilen
Teilnehmer	Martin Aebi
Funktion	Schulleiter und Lehrperson im Bereich NT
Pädagogischer Hintergrund	27 Jahre Erfahrung als Lehrperson im Bereich NT.
Zeit und Ort	Meilen, 02.02.18 10:15-11:15 Uhr
Gewünschte Ergebnisse aus der Arbeit	Er erhofft sich Impulse aus der Arbeit und sieht VR als Zukunft – nächster Sprung. Er sieht Potenzial (Marktlücke), Lehrmittel digital abzubilden. Die Schule sollte gegenüber Games aufholen – hier könnte man viel lernen. Dinge wie Bewertungen und Sprung ins nächste Level sind sehr interessant.

Kritik und Verbesserungsvorschläge

Kapitel	Kategorie	Erkenntnisse und Inputs	Verbesserung eingebaut	Begründung
Generell	Verbesserung	Themen ansprechen, welche die Schüler persönlich betreffen bzw. bei welchen es Anknüpfungspunkte gibt.	Ja	Dies wird bei der detaillierten Ausarbeitung der Lektion berücksichtigt.
Lernziele	Kritik	Lernziele sind sinnvoll. Lernziele werden normalerweise nicht so detailliert aufgeschrieben.	-	
Lernblöcke	Kritik	Aufteilung ist logisch und sinnvoll.	-	
Lernblöcke	Verbesserung	Evtl. kann der 5. Lernblock "Visionen und Lösungsansätze" direkt in die anderen Bereiche einfließen.	Nein	Der Aufbau wird als sinnvoll eingeschätzt. Die Schüler sollten zuerst Wissen in dem Thema aufbauen und die Probleme kennen, danach werden Ihnen die Lösungen aufgezeigt. Umweltprobleme und Lösungen könnten man aber durchaus stärker koppeln.

1. Herstellprozess / Aufbau	Kritik	Da Kunststoffe aus nur wenigen Substanzen bestehen, ist der Anwendungsfall evtl. zu wenig interessant. Abklären wie viel Substanzen in einem Polyester-Kleid verarbeitet werden.	Ja	In die Bewertung des Anwendungsfalls mitaufgenommen.
2. Transportwege	Kritik	Transportwege können heute schon mit dem Atlas aufgezeigt werden. VR bietet keinen grossen Mehrwert.	-	
2. Transportwege	Verbesserung	Anstatt Plastik als einzige Umweltkomponente auch die Effekte der Produktion und des Transports in die Arbeit mit aufnehmen	Ja	Dies wurde in den Anwendungsfall als zusätzliche Möglichkeit mitaufgenommen.
3. Welt ohne Plastik	Kritik	Interessanter Ansatz. Wichtig: Das Zimmer sollte einem echten Teenager-Zimmer entsprechen, damit sich die Schüler wiedererkennen.	-	
4. Recycling	Kritik	Schüler kennen sich bereits mit dem Recycling aus – deshalb weniger sinnvoll. Kein geeigneter Fall.	-	
4. Recycling	Verbesserung	Umdrehen, was kann man von den Produkten fürs Recycling verwenden. Produkt trennen, Förderband welches schneller wird Artikel wegnehmen. Geschicklichkeit hineinbringen.	Ja	Der Anwendungsfall wurde entsprechend ergänzt.
5. Umweltprobleme Einstieg	Kritik	Eher langatmig. Fragwürdig, da der Großteil des Makroplastikmülls im Meer nicht aus der Schweiz kommt. Einleuchtend, dass aus dem Plastik im Meer dann Mikroplastik entsteht, welcher in die Tierwelt gelangt.	-	
6. Umweltproblem Mikroplastik	Verbesserung	Es muss ein Fisch sein, welcher alle Kinder kennen (wichtig für Identifikation) – immer schauen dass die Kinder betroffen sind.	Ja	Dies wird bei der detaillierten Ausarbeitung der Lektion berücksichtigt.

6. Umweltproblem Mikroplastik	Verbesserung	Kinder essen am Ende den Fisch. Der Mensch könnte am Ende durchsichtig gezeichnet werden, so dass man beobachten kann, wie die Plastikteile im Körper des Menschen sind.	Ja	Dies wird bei der detaillierten Ausarbeitung der Lektion berücksichtigt.
7. Spiel Verminderung Plastikkonsum	Kritik	Idee ist langweilig, da für die Schüler viel zu einfach. Ausserdem gibt es im Supermarkt nicht eine solch grosse Auswahl, dass die Aufgabe fordernd wäre.	-	
7. Spiel Verminderung Plastikkonsum	Kritik	Ein guter Abschluss wäre, wenn man mit der Klasse möglichst ökologisch einkaufen geht und die Produkte zusammen kocht.	-	

1.2 Interview Daniel Degen – PH Luzern

Institution	Pädagogische Hochschule Luzern
Teilnehmer	Daniel Degen
Funktion	Wissenschaftlicher Mitarbeiter. Forschung im Bereich der Berufsbildung mit Bezug auf Digitalisierungsthemen.
Pädagogischer Hintergrund	Studium in Geschichte und Geographie und pädagogische Ausbildung an der Universität Basel. Im Bereich Berufsbildung bei der Firma Login gearbeitet. Aktuell in Ausbildung zum Master of Science in Berufsbildung.
Zeit und Ort	Zürich, 16.02.18 10:00-11:45 Uhr
Gewünschte Ergebnisse aus der Arbeit	Eine Evaluation, wie VR im Unterricht funktioniert hat. Wie ist die Akzeptanz der Schüler und Lehrer? Stehen Kosten und Ertrag im Verhältnis? Wie muss VR eingesetzt werden, damit es von den Schülern als lehrreich empfunden wird. Wie unterstützt VR den Kompetenzaufbau?

Kritik und Verbesserungsvorschläge

Kapitel	Kategorie	Erkenntnisse und Inputs	Verbesserung eingebaut	Begründung
Generell	Kritik	Konzept gut, Schüler werden emotional aktiviert und spielerisch gefordert.	-	

Generell	Verbesserung	Abfrage Lernerfolg -Kompetenzen kann man nicht mit Tests messen, da der Aufbau einer Kompetenz länger dauert. Zum Beispiel mit Lerndokumentation/Lernportfolio arbeiten. Dies könnte man in die Nachbearbeitung mitaufnehmen.	Ja	Die zusätzliche Rubrik "Wissenssicherung" wurde mitaufgenommen. Mit verschiedenen Mitteln wie Poster oder Videos sollen die Kompetenzen gefestigt werden.
Generell	Verbesserung	Aktivierung der Schüler mehr in den Vordergrund stellen. Aufpassen, dass VR nicht nur als Film umgesetzt wird, sondern dass Schüler aktiviert werden.	Ja	Dies wird bei der detaillierten Ausarbeitung der Lektion berücksichtigt.
Generell	Verbesserung	Übergreifende Kompetenz Medien und Informatik berücksichtigen. Kritischer Blick der Schüler auf das, was sie in der VR gesehen haben.	Ja	Mit dem Lernblock sollen Anwendungskompetenzen im Bereich Medien und Informatik aufgebaut werden.
Lernziele	Verbesserung	Die Ziele sollten spezifischer formuliert werden. Einbezug der 6 Taxonomiestufen nach Bloom wünschenswert.	Nein	Dies sollte in der Detailkonzeption der einzelnen Lernblöcke umgesetzt werden.
Lernziele	Verbesserung	Lernziele direkt den Anwendungsfällen zuordnen. Darauf achten, dass die Inhalte der Lernblöcke die Lernziele abdecken.	Ja	Die zusätzliche Rubrik "Lernziele" wurde mitaufgenommen.
Lernblöcke	Verbesserung	Bei den Lerninhalten – möglichst schnell aktivieren. Schüler müssen ganzheitliche Handlung durchleben. Die Aktivierung braucht möglichst wenig Input von der Lehrperson, aber möglichst viel Handlung durch Schüler.	Ja	Dies wird bei der detaillierten Ausarbeitung der Lektion berücksichtigt.
Lernblöcke	Verbesserung	Wie können die Schüler reflektieren, was sie gelernt haben. Mögliche Arten der Reflexion: Fragen, Gespräch oder viele weitere.	Ja	Die zusätzliche Rubrik "Wissenssicherung" wurde mitaufgenommen.
Lernblöcke	Verbesserung	Bei jedem Lernblock die Vor- und Nachbearbeitung aufzeigen.	Ja	Aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse wurde die Vorbereitung mittels Pfeilen dargestellt. Die Nachbearbeitung ist im Bereich Wissenssicherung dargestellt.

2. Transportwege	Kritik	Idee cool. Führt mehr ein als konventionelle Lernmethoden – da auch mit Bilder unterlegt.	-	
2. Transportwege	Verbesserung	Nachfolgender Auftrag (Nachbearbeitung) – Schüler schauen ihre Kleideretiketten an und vergleichen die Inhaltsstoffe – wer hat das ökologischste Produkt. Weiterer Auftrag Pullover sind Made in China aber Rohstoffe kommen von irgendwo, Schüler sollen forschen.	Ja	Dies wurde in der Wissenssicherung berücksichtigt.
3. Welt ohne Plastik	Kritik	Frage nach Aufwand und Ertrag. Idee cool, aber evtl. besser umsetzbar in direkter Realität. Schüler könnten ihre Zimmer fotografieren oder mit Video aufnehmen und dies selbst analysieren.	-	
4. Recycling	Kritik	Gut, dass es zwei Teile gibt - Vermittlung von Wissen und spielerische Komponente.	-	
4. Recycling	Verbesserung	Mögliche Nachbearbeitung: Recyclingprozess auf ein anderes Produkt anwenden.	Ja	Der Anwendungsfall wurde entsprechend ergänzt.
5. Umweltprobleme Einstieg	Kritik	Findet Idee gut, da die emotionale Verbundenheit hoch ist.	-	
5. Umweltprobleme Einstieg	Verbesserung	Bei didaktischen Methoden den Punkt Involvierung von Geist und Gefühlen einbeziehen.	Ja	Der Anwendungsfall wurde entsprechend ergänzt.
6. Umweltproblem Mikroplastik	Kritik	Sehr geeignet mit VR abzubilden, da man eine solche Betroffenheit ansonsten nicht auslösen kann.	-	
6. Umweltproblem Mikroplastik	Verbesserung	Mögliche Nachbearbeitung: Schüler sollen analysieren, was ihre Eltern zu Hause kochen und in welchen anderen Produkten Mikroplastik enthalten sein könnte.	Ja	Dies wurde bei der Wissenssicherung für die Lernblöcke "Recycling" und "Umweltprobleme" aufgenommen.

1.3 Interview René Moser – Volksschulamt Kanton Zürich

Institution

Volksschulamt Kanton Zürich

Teilnehmer	René Moser
Funktion	Leitung Fachstelle Bildung und ICT. Mitgearbeitet in Arbeitsgruppe Medien und Informatik. Strategischer Ebene – Digitalisierung.
Pädagogischer Hintergrund	René Moser hat lange im Bereich Natur & Technik unterrichtet. Er hat eigene Firma (eduteam gmbh), welche Online basierte eLearning-Lösungen entwickelt.
Zeit und Ort	Zürich, 20.02.18 10:00-12:00 Uhr
Gewünschte Ergebnisse aus der Arbeit	Spannend wäre die Reaktion von der Schülerschaft – was hat mich beeindruckt und was ist mein Wissenserwerb? Würde es sich lohnen, vermehrt in diese Richtung Unterrichtsmaterialien zu produzieren? Weiter wäre es spannend, die Reaktion der Lehrpersonen zu beobachten. Eine Befragung der Lehrpersonen nach dem Experiment wäre sinnvoll. Was ist ihre Meinung: Bsp. Spielerei, Hat mir neue Welt eröffnet, Was wären aus Sicht der Lehrpersonen drei Gebiete mit Potenzial in einem anderen Anwendungsgebiet, welche mit VR abgebildet werden können?

Kritik und Verbesserungsvorschläge

Kapitel	Kategorie	Erkenntnisse und Inputs	Verbesserung eingebaut	Begründung
Generell	Verbesserung	Wie soll eine Wissensabfrage aussehen, welche den neuen Mitteln gerecht wird. Siehe Dokument "Begleitskript_Wilhelm-Luthiger". -> Transfer von Wissen	Ja	Das Modell von Luthiger und Wilhelm wird für die Wissenssicherung hinzugezogen. Die Wissensabfrage ist nicht Bestandteil der Arbeit.
Generell	Verbesserung	Überprüfen, ob das Lehrmittel "Chemie" von Streiff für die inhaltliche Abdeckung geeignete wäre.	Ja	Das Lehrmittel deckt sich mit den definierten Inhalten.
Generell	Kritik	Die eigenständige Gestaltung von Lernblöcken, welche zum im Lehrplan 21 beschriebenen Kompetenzbereich passen ist erlaubt und liegt in der Methodenkompetenz der Lehrperson.	-	
Generell	Verbesserung	Wenn es die Möglichkeit gibt Welten selbstständig zu entdecken, sollte eine gewisse Führung/Aufgabenstellung vorhanden sein.	Ja	Wird im Detailkonzept berücksichtigt.
Lernziele	Verbesserung	Angabe von wo sich einzelne Lernziele ableiten mit Bezug auf den Lehrplan 21.	Ja	Die zusätzliche Rubrik "Lehrplan 21" wurde mitaufgenommen. In dieser wird der Bezug zum Lehrplan

				21 angegeben.
Lernziele	Kritik	Lernziele sind sinnvoll gewählt.	-	
Lernziele	Verbesserung	Der Bezug zwischen den einzelnen Anwendungsfällen und Lernzielen sollte hergestellt werden.	Ja	Die zusätzliche Rubrik "Lernziele" wurde mitaufgenommen.
Lernblöcke	Kritik	Die Unterteilung in die Lernblöcke ist sinnvoll.	-	
Lernblöcke	Verbesserung	Wissenssicherung als Rubrik aufnehmen: Reflexion zum Beispiel anhand eines Blogeintrags, Poster, Video, Song. Wichtig, dass die Schüler kreativ werden können.	Ja	Die zusätzliche Rubrik "Wissenssicherung" wurde mitaufgenommen.
Lernblöcke	Verbesserung	Zu jedem Lernblock sollte eine Rubrik "Lehrplan 21" hinzugefügt werden um den entsprechenden Bezug sichtbar zu machen.	Ja	Die zusätzliche Rubrik "Lehrplan 21" wurde mitaufgenommen. In dieser wird der Bezug zum Lehrplan 21 angegeben.
Lernblöcke	Verbesserung	Im NT3.3 Kompetenzbereich gibt es den Link zum Modul Medien und Informatik. Dies sollte im Konzept berücksichtigt werden.	Ja	Die zusätzliche Rubrik "Lehrplan 21" wurde mitaufgenommen. In dieser wird der Bezug zum Lehrplan 21 angegeben.
Generell	Verbesserung	Lebensweltperspektive der Schüler mit-einbeziehen, siehe dazu das KAFKA-Modell im Dokument der PH Luzern.	Ja	Wird im Detailkonzept berücksichtigt.
1. Herstellprozess / Aufbau	Kritik	Im Vergleich zum Video bietet dieser Anwendungsfall keinen grossen Mehrwert.	Ja	In die Bewertung des Anwendungsfalls mitaufgenommen.
Generell	Verbesserung	Den Schülern müsste eine klare Aufgabe gestellt werden. Ansonsten ist nicht klar, auf was sie sich während der Anwendung achten sollen.	Ja	Wird im Detailkonzept berücksichtigt.
2. Transportwege	Verbesserung	Nur mit Frauenkleider zu arbeiten ist heikel - Thema Gender. Hier auf neutrale Formulierung achten.	Ja	Dies wurde entsprechend angepasst.
2. Transportwege	Verbesserung	Mögliche Transferaufgabe: Transportwege mit verschiedenen Distanzen und Zeiten ins Verhältnis setzen.	Ja	Aufbau und Ablauf wurde um diesen Punkt ergänzt.

3. Welt ohne Plastik	Kritik	Anwendung in VR sinnvoll, weil das Bewusstsein für die Anzahl Produkte mit Kunststoffen gefördert wird.	-	
4. Recycling	Kritik	Grosser Vorteil von VR, da man hier den ganzen Prozess End-zu-End darstellen kann.	-	
5. Umweltprobleme Einstieg	Verbesserung	Interessant wäre eine Verknüpfung mit den Abfallmengen. Wie viel verbraucht ein Schweizer Haushalt im Schnitt, wie viel Abfall fällt bei Grossanlässen, wie zum Beispiel dem Zürifäscht oder der Streetparade an (visualisieren).	Ja	Der Anwendungsfall wurde entsprechend ergänzt.
5. Umweltprobleme Einstieg	Kritik	Aktivität der Schüler ist nicht klar. Man könnte auch ein Video laufen lassen.	-	
6. Umweltproblem Mikroplastik	Kritik	Sehr geeigneter Fall, das kann man sonst nicht darstellen. Hat René Moser persönlich fasziniert. Der Mehrwert entsteht beim Vergleich der Grössenverhältnisse.	-	
7. Spiel Verminderung Plastikkonsum	Kritik	Eher schwierig darzustellen, da keine Produktalternativen.	-	

1.4 Interview Katrin Bölsterli Bardy – PH Luzern

Institution	Pädagogische Hochschule Luzern
Teilnehmer	Katrin Bölsterli Bardy
Funktion	Katrin Bölsterli ist der Chemie- Biologiedidaktik tätig. Sie lehrt und forscht an der PH Luzern. In ihrer Dissertation hat sie ein Schulbuchraster erstellt, welches dazu dient Schulbücher zu bewerten. Das Raster hat zwei Ziele: Zum einen bietet es Hilfe für Autoren, um ein kompetenzorientiertes Lehrmittel zu erstellen, andererseits ermöglicht es, Lehrmittel zu vergleichen.
Pädagogischer Hintergrund	Sie war selbst Lehrerin und hat im Bereich NT, Alltag und Wissenschaft unterrichtet.
Zeit und Ort	Skype, 22.02.18 20:30-21:40 Uhr
Gewünschte Ergebnisse aus der Arbeit	Spannend wäre, wenn eine für den Unterricht verwendbare Unterrichtseinheit entstehen würde.

Kritik und Verbesserungsvorschläge

Kapitel	Kategorie	Erkenntnisse und Inputs	Verbesserung eingebaut	Begründung
Generell	Verbesserung	Kopplung des Kompetenzbereichs NT 3.3 mit dem Bereich NT 2.2 prüfen. Im Bereich NT 2.2 werden Eigenschaften von Stoffen behandelt.	Ja	Die Kopplung wurde in die Beschreibung der Lernblöcke Anwendungen und Recycling übernommen.
Generell	Verbesserung	Plastik kann giftig sein, dies könnte noch ergänzt werden. (Bsp. PVC, Weichmacher). Produktdifferenzierung, wo ist typischerweise mit solchen Stoffen zu rechnen (Bsp. Billigprodukte)	Ja	Der Bereich Umweltprobleme wurde um diesen Inhalt ergänzt.
Generell	Verbesserung	Eine Ergebnissicherung sollte implementiert werden.	Ja	Die zusätzliche Rubrik "Wissenssicherung" wurde mitaufgenommen.
Lernblöcke	Verbesserung	Aufgrund des aktuellen Aufbaus muss man mit ca. 2 Stunden pro Lernblock rechnen, was eher lang ist. Der Aufbau/Herstellungsprozess könnte man kürzen.	Ja	Wird im Detailkonzept berücksichtigt.
Lernblöcke	Verbesserung	Bei Umweltproblemen Eigenvergiftung mitaufnehmen. Überprüfen, welchen Einfluss Mikroplastik auf den weiblichen Hormonhaushalt hat (eher auf Problemebene als chemische Ebene).	Ja	Lernblock Umweltprobleme wurde entsprechend angepasst.
1. Herstellprozess / Aufbau	Kritik	Einheit könnte auch ohne VR durchgeführt werden.	Ja	In die Bewertung des Anwendungsfalls mitaufgenommen.
2. Transportwege	Kritik	Durch das entdeckende Vorgehen wäre VR hier ein Mehrwert.		
3. Welt ohne Plastik	Verbesserung	Abstufung der Produkteinteilung anhand des Kunststoffanteils. Eine solche Einteilung in mehrere Levels könnte motivierend wirken.	Ja	Der Anwendungsfall wurde entsprechend ergänzt.
3. Welt ohne Plastik	Kritik	Wäre ein witzige Idee.	-	

4. Recycling	Verbesserung	Einteilung nach verschiedenen Stoffen ist wahrscheinlich zu einfach. Eine bessere Idee wäre die Einteilung von Kunststoffen in verschiedene Kategorien. Hier auf NT 2.2 zurückgreifen.	Ja	Da die Sortierung nach verschiedenen Stoffen zu einfach ist, sollen verschiedene Kunststoffkategorien unterschieden werden.
4. Recycling	Kritik	Eignung für VR fragwürdig, da die Unterteilung heute bereits im Klassenzimmer gemacht wird.	-	
5. Umweltprobleme Einstieg	Kritik	Die Idee ist gut, da die Schüler den Einfluss ihres Verhaltens auf die Umwelt sehen. Der Vorteil von VR ist aber nicht ersichtlich und man könnte dies auch mit konventionellen Methoden darstellen.	-	
5. Umweltprobleme Einstieg	Verbesserung	Alternative Idee: Die Verschmutzung am Strand wird aufgrund des Einkaufsverhaltens und des persönlichen Verhaltens gesteuert.	Ja	Wurde als Alternative aufgenommen.
6. Umweltproblem Mikroplastik	Kritik	Coole Idee, da dieser Fall die Schüler betroffen macht. VR wäre sehr sinnvoll.	-	
6. Umweltproblem Mikroplastik	Verbesserung	Spannend wäre, wenn man aufzeigen würde, welche Tiere besonders betroffen sind (Bsp. Grosse Fische, Muscheln). Recherche, welchen Einfluss Mikroplastik auf die Tiere hat.	Ja	Dies wird bei der detaillierten Ausarbeitung der Lektion berücksichtigt.
7. Spiel Verminderung Plastikkonsum	Kritik	Der Fall wurde nicht besprochen.	-	

Anhang E Leseauftrag

Der Leseauftrag basiert auf der Bildungsmappe der Agrar Koordination (o. J.).

1 Verpackung, Plastik und Umwelt

„Nach der Steinzeit, der Bronze- und Eisenzeit haben wir jetzt die Plastikzeit. Wir sind Kinder des Plastikzeitalters“. Werner Boote in „Plastic Planet“

Ungefähr 250- 300 Millionen Tonnen Kunststoffprodukte werden weltweit pro Jahr produziert – einhundert Mal mehr als noch vor 50 Jahren. Ein Leben ohne Plastik ist kaum mehr vorstellbar. Kunststoff besitzt ideale Eigenschaften: er ist kostengünstig in der Produktion, hat ein geringes Gewicht, ist formbar, säure- und hitzebeständig, bruchfest und beinahe universell verwendbar. Flaschen, Folien, Verpackungen, Einkaufstüten, Herzklappen, Spielzeug, Telefone, Gehäuse, Klamotten, Sportgeräte, Bestandteile von Kosmetika und eine Vielzahl mehr an Produkten werden aus Kunststoffen hergestellt. Die Einsatzmöglichkeiten sind beinahe unendlich. Mit der Gesamtmenge des bisher produzierten Plastiks könnte man die Erde sechsmal in Folie einwickeln. Viele der Kunststoffstrukturen werden allerdings erst in Jahrhunderten verrottet sein – sie können bis zu 500 Jahre in Böden und Gewässern überdauern und geben in dieser Zeit viele chemische Zusatzstoffe an die Umwelt ab.¹

Wusstest Du?

Rund 100 kg Plastik verbraucht einE EuropäerIn durchschnittlich pro Jahr. ²

1.1 Verpackungsmüll

Verpackungen sind die augenscheinlichste Form der Überschwemmung der Erde mit Kunststoff. Ein Grossteil des Plastiks wird ein einziges Mal benutzt, aufgeschnitten und weggeworfen. Rund 40 % der Kunststoffe werden in Europa als Verpackung eingesetzt.³ Die Kurzlebigkeit der Verpackungsprodukte steht dabei in scharfem Kontrast zur Langlebigkeit der Kunststoffe, also deren Abbaudauer von bis zu mehreren hundert Jahren. Die Verpackungen werden immer größer im Verhältnis zur Produktgröße und sind zum Teil überflüssig.⁴ Man denke nur an USB-Sticks, die vorgeblich aus

Diebstahlschutzgründen häufig so verpackt sind, dass Platz für 20 weitere Sticks wäre; Gurken, die zusätzlich zu ihrer natürlichen „Verpackung“ nochmals in Folie eingeschweißt sind; oder Kaffeepads und Kapseln, die Kaffee extra in Mini-Portionen verpacken.

So gut wie alle Produkte, die wir kaufen und konsumieren, sind verpackt. **Verpackungen** haben verschiedene **Funktionen**: sie halten die Produkte, z.B. Lebensmittel, frisch und länger haltbar, schützen die Ware während dem Transport und präsentieren die Produkte optisch ansprechend. Verpackungen bestehen aus verschiedenen Materialien: Verpackungen aus Pappe/ Papier/ Karton haben den größten Anteil, gefolgt von Glas (z.B. Flaschen), Kunststoffen (Plastikbecher, Folien), Holz und Metallverpackungen (Dosen). Der Einsatz von Kunst-



Abbildung 34: PET-Flaschensammlung © Peter von Bechen / pixelio.de

¹ www.kunststoffweb.de; PlasticsEurope (2012): „Plastics - the Facts 2012“; Plastic Planet (2012), Dokumentarfilm.

² <http://plasticcontrol.de>

³ PlasticsEurope (2012): „Plastics - the Facts 2012“; Süddeutsche, Artikel vom 13.5.2011: Das Zeitalter der Kunststoffe. Der Plastik Planet.

⁴ Wichmann, Stefan (2012): Unsinnige Verpackungen, WDR – Servicezeit, Sendung vom 30. Juli 2012

stoffverpackungen nimmt dabei beständig zu, was u.a. an der zunehmenden Verwendung von Kunststoffverschlüssen, verpackter Scheibenware (Wurst, Käse), Verpackung in Schalen statt in Folien sowie dem Trend zu gekühlten Fertiggerichten liegt.⁵ Vorteile von Kunststoffverpackungen ergeben sich aus dem vergleichsweise geringen Gewicht des Stoffes: dadurch werden Transportkosten gesenkt und CO₂ eingespart, insbesondere bei längeren Transportwegen.⁶

Zum Beispiel Getränkeverpackungen:

Im Bereich Getränkeverpackungen verdrängen Kunststoff-Einwegflaschen zunehmend Mehrwegflaschen vom Markt. Seit 2004 ist die Mehrwegquote von 70 Prozent auf nur noch rund 50 Prozent zurückgegangen (Beispiel aus Deutschland). Rund 46% der Getränke werden in Einweg-Kunststoffflaschen verkauft. Getränke in Mehrwegflaschen aus Glas oder Kunststoff sind jedoch nach wie vor am umweltfreundlichsten. Die beste Ökobilanz weisen Mehrwegflaschen von regionalen Anbietern auf.⁷ Durch lange Transportwege verschlechtert sich die Ökobilanz von Glas-Mehrwegflaschen aufgrund ihres hohen Gewichts. Zwar erhält man auch bei Einwegflaschen rund 97 Prozent des ursprünglichen Stoffs durch Recycling zurück, allerdings unter großem Einsatz chemischer Stoffe und Energie. Glas- Mehrwegflaschen hingegen können rund 50 Mal wieder befüllt werden.⁸



Abbildung 35: PET-Flaschen© itestro - Fotolia.com

Plastiktüten

Leicht, praktisch, wertlos und oft nach einer einzigen Benutzung weggeworfen – Symbol der Konsumgesellschaft. 2010 wurden EU-weit **95,5 Milliarden Plastiktüten** benutzt. 500 Tüten verbraucht ein durchschnittlicher EU-Bürger pro Jahr und das im Schnitt gerade mal 23 Minuten lang. 92 Prozent der Tüten landen nach einmaligem Gebrauch im Müll – oder in der Umwelt. Die Recyclingquote ist gering. Bis Plastiktüten vollständig zerfallen benötigen sie je nach eingesetztem Kunststoff 100 bis 500 Jahre. Dabei ist die Alternative so einfach: Tasche, Rucksack oder Jutebeutel.⁹ Zunehmend werden daher in letzter Zeit Stimmen laut, die ein Verbot von Plastiktüten fordern, wie es in einigen Ländern (Frankreich, Indien, Italien, China) generell oder für die leichte Version der Tüten schon besteht. Eine andere Forderung besteht in der Einführung eines Pfands für Plastiktüten.

⁵ Umweltbundesamt (2012): Daten zur Umwelt. Verpackungsaufkommen und Verwertung von Verpackungsabfällen, online abrufbar; Planet Wissen (2011): Werkstoffe: Verpackungen, www.planet-wissen.de/alltag_gesundheit/werkstoffe/verpackung/

⁶ Museum für Gestaltung Zürich (2012): Endstation Meer? Das Plastikmüll – Projekt; PlasticsEurope (2012): „Plastics - the Facts 2012“;

⁷ Umweltbundesamt (2011): Presse-Information 031/2011: Trend zu Einwegflaschen ungebrochen; Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH (2011): Verbrauch von Getränken in Einweg- und Mehrwegverpackungen, Wiesbaden

⁸ Fischer, Thomas (2011): Die Nachhaltigkeit von Verpackungen. Spagat zwischen Lifestyle und Ressourcenschutz, in: Plattform Nachhaltig Wirtschaften

⁹ Deutsche Umwelthilfe: Zahlen und Fakten zu Plastiktüten, www.duh.de/3711.html ; Süddeutsche.de, Steuer auf Einkaufstüten, Artikel vom 9.3.2013

Definition und Herstellung von Plastik

Was ist Plastik eigentlich?

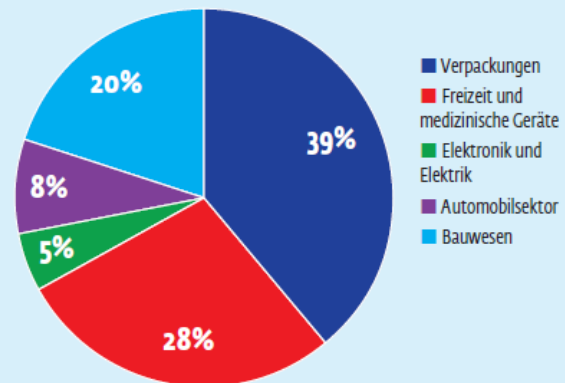
Plastik ist die umgangssprachliche Bezeichnung für Kunststoffe. Kunststoff ist ein Material, dessen Grundstoff künstlich, also synthetisch oder halbsynthetisch (aus Naturprodukten, wie Kautschuk oder Zellulose) hergestellt wird. Chemisch betrachtet sind Kunststoffe organische Stoffe, die das Element Kohlenstoff enthalten. Weitere Bestandteile sind u.a. Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Schwefel. Durch die Wahl von Ausgangsmaterial, Produktionsverfahren und die Beimischung von Additiven (Zusatzstoffen), wie Weichmacher, Stabilisatoren, Farbmittel, Füllstoffe oder Flammenschutzmittel werden die Eigenschaften des Materials an den jeweiligen Verwendungszweck angepasst. Synthetische Kunststoffe werden aus Erdöl, Kohle und Erdgas gewonnen.

Wie wird Plastik hergestellt?

Das für die Kunststoffherstellung am häufigsten verwendete Produkt ist Rohbenzin. Durch Cracken, ein thermischer Spaltprozess, wird das Benzin in Ethylen, Propylen, Butylen und andere Kohlenwasserstoffverbindungen auseinander „gebrochen“ und umgebaut. Durch chemische Reaktionen (Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition) werden die kleinen Moleküle zu großen netz- oder kettenförmigen Molekülen (Polymere) geordnet. Daraus wird in einem nächsten Arbeitsschritt eine Vielzahl kleiner Plastik-Pellets hergestellt, aus denen wiederum nach Zugabe verschiedener Zusatzstoffe die Plastikprodukte erzeugt werden.¹⁰

Einsatzgebiete von Plastik

In Europa verteilen sich die Einsatzgebiete der Kunststoffe folgendermaßen



1.2 Umweltwirkungen von Plastik

Egal ob als Lebensmittelverpackung, als Abfall auf Deponien oder im Meer – die im Kunststoff enthaltenen Chemikalien belasten das Ökosystem und unsere Gesundheit. Plastik wird man nur sehr schwer wieder los, da die meisten Stoffe biologisch nicht abbaubar sind und daher auf Mülldeponien lagern oder in Müllverbrennungsanlagen entsorgt werden. Nur ein Drittel des Plastikmülls wird recycelt. Öfters als ein oder zweimal lassen sich die Stoffe jedoch selten wiederverwerten. Dann landen auch diese Kunststoffe letztendlich doch auf Mülldeponien, werden verbrannt oder gelangen in die Umwelt.

Eine Plastiksicht überzieht die gesamte Erde – kleine Plastikpartikel werden durch Wind und Wellen verbreitet und lagern sich auf dem Land und Meeresböden ab. Da Kunststoff chemisch nicht stabil ist, gelangen kleinste Teilchen sowie Schwermetalle, Weichmacher und toxische Substanzen, die darin enthalten sind, im Lauf der Zeit aus den Materialien und reichern sich in der Biosphäre an. Sie können in der gesamten Umwelt (in der Luft, im Boden oder Grundwasser) wiedergefunden werden und werden in die Nahrungskette aufgenommen.¹⁰

Plastikmüll im Meer

Laut Schätzungen der UN Umweltorganisation (UNEP) gelangen jährlich weltweit rund sechs Millionen Tonnen Kunststoffmüll ins Meer.¹¹ Der Plastikmüll gerät hauptsächlich über Flüsse, illegale Müllentsorgung an Küsten, Wind, küstennahen Tourismus und Schifffahrt in die Meere. Durch Sonnenlicht und Wellen brechen die Teile in immer kleinere Stücke, bis sie irgendwann die Größe von Plankton annehmen. Es wird geschätzt, dass sich durchschnittlich ca. 18.000 Plastikteilchen pro Quadratkilometer auf der



Abbildung 36: What lies under © Ferdí Rizkiyanto

¹⁰ NABU: Eine Welt aus Plastik. Wie Kunststoff unser Leben überschwemmt, online abrufbar.

¹¹ UNEP (2005): Marine Litter. An Analytical Overview.

Meeresoberfläche befinden. Diese machen jedoch nur einen kleinen Teil des Mülls aus, mehr als 70 Prozent sinkt auf den Meeresboden.¹² Fische und andere Meerestiere verwechseln die Kunststoffteilchen mit Plankton und sterben daran. Das Verhältnis von Plastik zu Plankton beträgt teilweise 6:1. Diese kleinen Plastikteilchen ziehen außerdem, wie WissenschaftlerInnen vermuten, gefährliche Umweltgifte wie DDT oder PCB an und saugen sie auf. So wurden an der Oberfläche von Plastikpellets Giftkonzentrationen gefunden, die bis zu einer Million Mal höher waren, als die des sie umgebenden Wassers.¹³

Plastikmüll in der Schweiz

Auch wenn die Schweiz ein Binnenland ist, tragen wir ebenfalls einen Teil zur globalen Meeresverschmutzung bei und auch unsere Gewässer enthalten Mikroplastik. "In allen Schweizer Gewässern ist Mikroplastik vorzufinden. Selbst in unseren Bergseen. Gerade in vielen Kosmetikartikeln und durch neue synthetische Materialien in unserer Kleidung gelangen Plastikpartikel durch Waschmaschinen und Lavabos ins Abwasser. "Es ist bekannt, dass unsere Kläranlagen maximal 93 % herauszufiltern schaffen. So gelangt Plastik in unsere Flüsse und mündet schlussendlich ins Meer."¹⁴

Plastik und Ressourcenverbrauch

Plastikverpackungen sind allerdings nicht ausschließlich ein Müllproblem. Die Kunststoffindustrie belastet die Umwelt auch dadurch, dass bei der Produktion enorme Mengen an Öl und Trinkwasser verbraucht werden. 4% der weltweiten Erdöl und –gasproduktion werden zur Herstellung von Kunststoffen verwendet.¹⁵

Was tun?

Plastikmüll zu vermeiden, ist oft gar nicht so einfach – doch es gibt Alternativen:

- Mehrwegsysteme sind eine gute Möglichkeit Plastik-Abfall zu umgehen (z.B. Joghurt im Mehrwegglas; Mehrweg-Glasflaschen).
- Keine Plastik-Tüten, sondern Stoffbeutel, Rucksack oder Einkaufskorb verwenden.
- Bei lang haltbaren Lebensmitteln lohnt es sich große Verpackungen zu kaufen.
- Auf Frischhaltefolie verzichten und stattdessen lieber Gläser oder Kunststoffboxen verwenden.
- Coffee to Go? Statt Einwegbecher zu benützen, lohnt es, sich einen Porzellan- oder Edelstahlbecher zuzulegen.

2 Was geschieht mit unserem Müll?

Müll ist das Abbild unserer Konsumgesellschaft. Auf der nächsten Seite ist dargestellt, wie viel Abfall jede in der Schweiz wohnhafte Person pro Jahr erzeugt¹⁶

¹² NABU: Müllkippe Meer; UNEP (2005): *Marine Litter. An Analytical Overview*; UNEP (2011): *UNEP Year Book 2011, Plastic Debris in the Ocean*.

¹³ BUND: *Achtung Plastik! Chemikalien in Plastik gefährden Umwelt und Gesundheit*.

¹⁴ <https://www.srf.ch/radio-srf-virus/aktuell/umwelt-ein-meer-aus-plastik-wie-kunststoff-unsere-ozeane-verseucht>

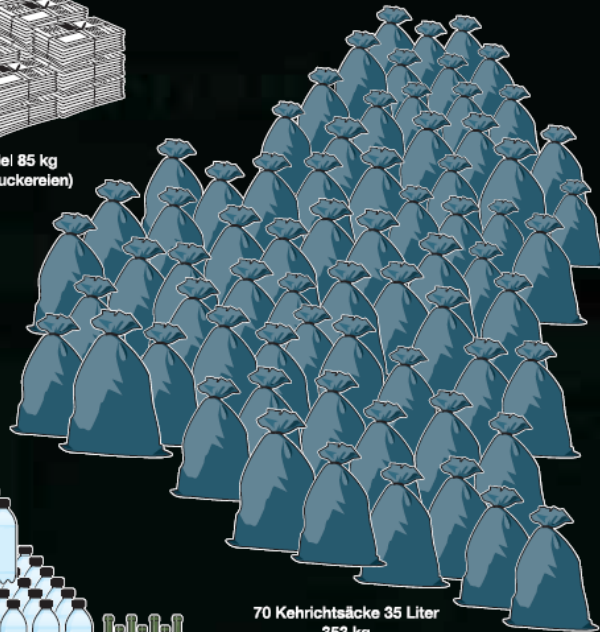
¹⁵ Museum für Gestaltung Zürich (2012): *Endstation Meer? Das Plastikmüll – Projekt*.

¹⁶ http://folio.nzz.ch/sites/default/files/0709_abfall_schweizer_pro_jahr.pdf

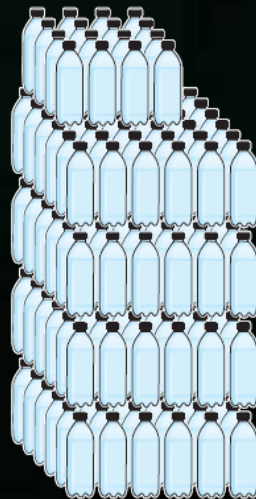
So viel Abfall erzeugt der Schweizer pro Jahr



15 Zeitungsbündel 85 kg
(plus 85 kg aus Druckereien)



70 Kehrrihtsäcke 35 Liter
353 kg



180 PET-Flaschen
4,3 kg



82 Glasflaschen
41 kg



60 Alu-Dosen
700 g



27 Blechbüchsen
1,6 kg



14 Batterien AA
320 g



Elektronische Geräte
13,1 kg



Textilien
6,3 kg



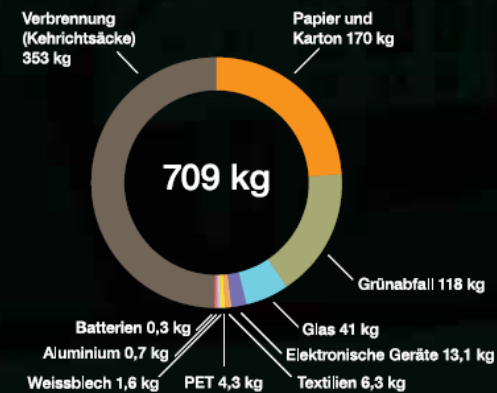
Kompost
118 kg



Fäkalien
70 kg

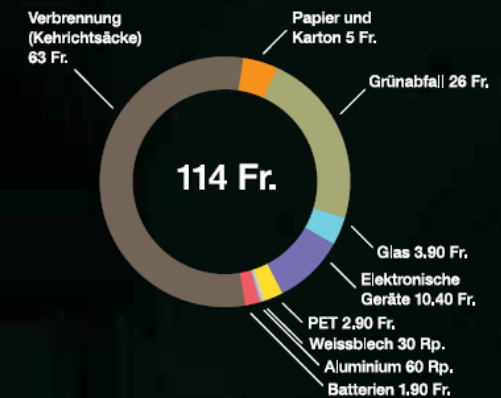
Jede in der Schweiz wohnhafte Person – vom Baby bis zur Grossmutter – erzeugte im Jahr 2006 durchschnittlich den nebenstehenden Abfall. Die Kategorien sind symbolhaft dargestellt. Zum Papier gehört auch der Karton, zu den Aludosen auch die Aluverpackungen. Beim Papier ist auch der Anteil aus Druckereien eingerechnet, bei Elektroschrott auch ein Anteil des Gewerbes.

Gewicht pro Person und Jahr



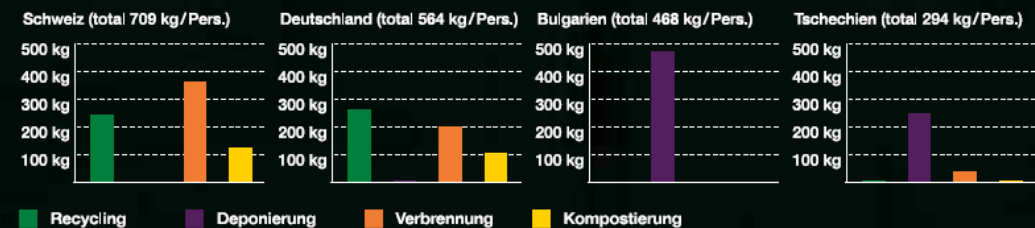
Etwa die Hälfte des Haushaltsabfalls wird heute wiederverwertet, die andere Hälfte landet in der Kehrrihtverbrennung. Auf Deponien darf in der Schweiz kein Haushaltsabfall mehr entsorgt werden.

Entsorgungskosten pro Person und Jahr



Die Entsorgungskosten der verschiedenen Abfallkategorien sind nur unter Vorbehalt vergleichbar. Sowohl die Menge als auch die Verwendung des Stoffes muss dabei berücksichtigt werden.

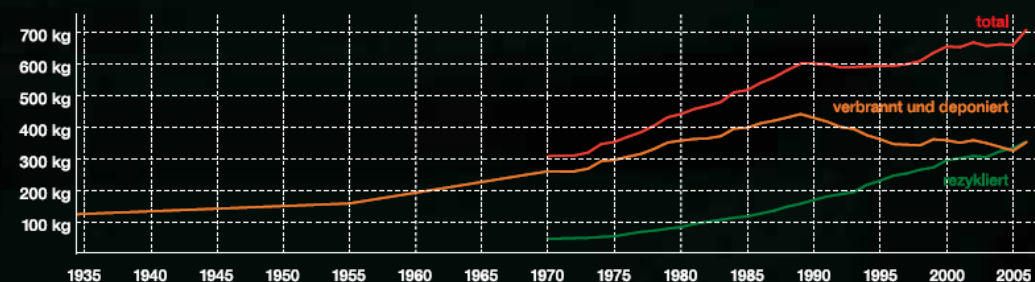
Ländervergleich: Verbrennen, Deponieren, Rezyklieren, Kompostieren



Die Abfallbehandlung unterscheidet sich von Land zu Land: In der Schweiz wird überhaupt kein Haushaltsabfall mehr deponiert, in Bulgarien 100 Prozent. Auch die Mengen variieren: die Schweiz liegt mit

etwas über 700 kg im Spitzenfeld, das von Dänemark mit 801 kg angeführt wird. Wirtschaftlich schwächere Staaten im Osten erzeugen weniger Abfall. Am wenigsten Tschechien mit knapp 300 kg.

Entwicklung der Haushaltsabfälle seit 1930



Die Abfallmenge pro Person hat sich in der Schweiz seit den 1930er Jahren fast verdreifacht. Von geschätzten 126 Kilogramm im Jahr 1932 auf über 700 Kilogramm heute. Seit den 1970er Jahren wird ein

wachsender Teil davon wiederverwertet, so dass der Anteil des verbrannten (und früher deponierten) Kehrrihts seit 1989 um fast 100 Kilogramm zurückgegangen ist.

2.1 Recycling (am Beispiel Plastik)

Der Begriff Recycling ist folgendermaßen definiert: Jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.¹⁷

Es existieren zwei Recycling-Verfahren für Kunststoffe: das werkstoffliche und das rohstoffliche Verfahren.

Bei der **rohstofflichen Verwertung** werden die Kunststoff-Polymerketten chemisch oder thermisch aufgespalten, so dass petrochemischen Grundstoffe, wie Öle und Gase entstehen. Diese können zur Herstellung neuer Kunststoffe oder für andere Zwecke eingesetzt werden. Allerdings ist zu bedenken, dass für den erneuten Herstellungsprozess wieder Energie verbraucht wird. In Deutschland wird auch nur ca. 1 % der Kunststoffe dem rohstofflichen Recycling zugeführt.¹⁸

Beim **werkstofflichen Recycling** geht es um die mechanische Aufbereitung von gebrauchten Kunststoffen zu direkt wieder verarbeitungsfähigen sog. Rezyklaten. Die chemische Struktur bleibt dabei unverändert. Kunststoffabfälle werden eingeschmolzen und dann zu Granulat verarbeitet, das für die Herstellung neuer Produkte verwendet werden kann. Dieses Verfahren wird bei ca. 35% des Kunststoffmülls angewendet. Die Schwierigkeit beim Recyceln von Plastikabfällen besteht darin, dass ein Großteil der Materialien sich aus unterschiedlichen Kunststoffen und Zusatzstoffen zusammensetzt. Außerdem geht durch das Recycling ein Qualitätsverlust des Materials einher (sog. Downcycling), weshalb sich die Stoffe selten öfters als ein oder zweimal wiederverwerten lassen. Auch bei werkstofflichen Recyclingverfahren kommt es zu Energieverbräuchen und Treibhausgasemissionen, dennoch ist diese Verwertungsform die umweltfreundlichste, wie Ökobilanzen zeigen.³⁸

2.2 Thermische Verwertung - Müllverbrennung

Das Recycling von verschmutzten, sortenunreinen und vermischten Kunststoffabfällen ist aufwendig, da die Kunststoffe nur in ihrer Reinform wiederverwendet werden können. Müll, der nicht recycelt werden kann, wird „thermisch verwertet“ – d.h. verbrannt bzw. als Ersatzbrennstoff genutzt. Zwar wird so Energie gewonnen (in Kraftwerken, Müllverbrennungsanlagen oder für die energieintensive Zementherstellung) und Kohle und Erdgas eingespart, doch es werden auch Schadstoffe freigesetzt.¹⁹

Außerdem muss die bei der Verbrennung gewonnene Energie zum gesamten Energieinhalt des Abfalls in Relation gesetzt werden. Denn bei der Verbrennung wird nur ein Teil des Heizwerts der Abfallprodukte genutzt, während die gesamte Produktionsenergie, die bei vielen Kunststoffen genauso hoch ist wie deren Heizwert, komplett verloren geht. Negativ für die Ökobilanz schlagen auch die durch die Verbrennung entstehenden Luftschadstoffe zu Buche. Mit Ausnahme der erzeugten Energie hat die Verbrennung von Kunststoffmüll daher in allen Faktoren eine negative Ökobilanz.²⁰



Abbildung 37: Müllverbrennungsanlage © Gabi Schoenemann pixelio.de

¹⁷ Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG, § 3 Abs. 25

¹⁸ Umweltbundesamt (2013): Daten zur Umwelt. Aufkommen und Entsorgung von Kunststoffabfällen; www.technikatlas.de/ ³⁸ www.berlin-sammelt.de/wertstoffe/verwertung/kunststoff-werkstoffliche-verwertung/

¹⁹ Taz: Giftige Müllverbrennung in Fabriken, Artikel vom 10.8.2011, <http://www.taz.de/176043/>;

²⁰ BUND (2010): Wege zu einer nachhaltigen Abfallwirtschaft, www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/sonstiges/20101001_sonstiges_abfall_position.pdf

Bei der Verbrennung bleiben Rückstände übrig – pro Tonne Müll ca. 250 kg Schlacke und 30 kg Filterstaub. Die Schlacke wird entweder auf Deponien gelagert, zum Auffüllen stillgelegter Minen oder als Baumaterial für Dämme und Straßen verwendet. Die Filterrückstände, d.h. die giftigen Stoffe, die dem Verbrennungsrauch entzogen wurden, sind Sondermüll, der in unterirdischen Erdlagern, wie Salzstöcken gelagert wird.²¹

3 Müllreduktion

Grundsätzlich gilt die Devise: Kein Müll ist in jedem Fall umweltfreundlicher als Recycling. So wie auch das umweltfreundlichste Produkt das ist, das gar nicht erst entsteht. Denn für jedes Produkt, seinen Gebrauch und seine Entsorgung werden Rohstoffe und Energie verbraucht. Durch Recycling wird zwar ein Teil der Ressourcen zurückgewonnen und es ist energiesparender im Vergleich zur Neuherstellung eines Materials. Doch auch die Prozesse der Sortierung, Behandlung und Verwertung sind mit Energieverbrauch und CO₂-Emissionen verbunden.

Reduce, Reuse, Recycle:

Am ressourcenschonendsten ist daher ein Konsumstil, der sich auf wirklich Notwendiges und den Kauf langlebiger Produkte konzentriert und auf Wegwerf- und Einmalgebrauch-Artikel verzichtet. Für Abfälle, die unvermeidbar sind, gilt: Wiederverwenden oder Recyceln. Mülltrennung wiederum ist Voraussetzung für hochwertiges Recycling.²²

3.1 Weniger Wegwerfen - Tauschen und Verschenken, Reparieren, Upcycling

Neben den alltäglichen Müllvermeidungsmöglichkeiten, auf die man beim Einkauf achten kann und einem generell bewussten Konsumstil, gibt es noch kreative und praktische Aktivitäten, durch die man Müll sparen kann.

> Kollaboratives Shoppen – Tauschen, Teilen und Leihen

Collaborative consumption – so der englische Begriff, beruht auf der Idee, gemeinsam weniger zu konsumieren und einzukaufen, ohne dabei notwendigerweise auf bestimmte Dinge verzichten zu müssen. Das Motto lautet: Teilen statt kaufen oder nutzen statt besitzen. Dadurch fällt auch weniger Müll an, da nicht JedeR alles kaufen, besitzen und wieder wegwerfen muss.

Dinge, die man nicht mehr braucht, die aber zu schade zum Wegwerfen sind, kann man zum Beispiel in **Second-Hand-Läden** bringen, selbst ein **Flohmarkt** organisieren oder bequem **Online** verkaufen.

> Selbst reparieren

In sog. „offenen Werkstätten“ werden defekte Geräte teilweise unter Anleitung selbst repariert und so vor dem Müllcontainer bewahrt. Andere Dinge werden selbst hergestellt oder restauriert. Es wird geteilt, was fürs Selbermachen nötig ist: Wissen und Materialien, Werkzeuge, Maschinen und Räume.

> Upcycling

Beim Upcycling werden Abfallprodukte oder nutzlose Stoffe in neue Produkte umgewandelt. So kommt es zu einer stofflichen Aufwertung: die erneute Verwertung von Materialien reduziert die Neuproduktion von Rohmaterialien, verringert Energieverbrauch und Emissionen und spart Abfall. www.weupcycle.com

²¹ greenpeace magazin 4,07: Der Müll und die Mythen; Der Tagesspiegel: Klimaschutz durch Müllverbrennung, Abfallxperte: Energie aus Müll, Artikel vom 27.11.2002

²² Wefers, Heribert (2011): Abfallrecycling- Besser trennen, BUNDmagazin -4/2011

Anhang F Anleitung VR-Lernumgebung

Anleitung Virtual Reality-Lernumgebung Mikroplastik

Bevor du in die virtuelle Welt eintauchst, bitte ich dich, diese zwei Seiten aufmerksam durchzulesen. Vielen Dank und viel Spass in der virtuellen Welt!

Wichtig

Nicht jeder reagiert gleich auf virtuelle Umgebungen. Bei manchen gibt es ein flaes Gefühl im Bauch, speziell beim ersten Gebrauch. Falls es dir schlecht werden sollte, kannst du natürlich jederzeit aufhören. Gib uns diesbezüglich einfach Bescheid.

Folgende Punkte helfen dir, mit einem guten Gefühl durch die virtuelle Lernumgebung zu navigieren:

Keine allzu schnellen Bewegungen

Unser Kopf muss all die neuen Eindrücke verarbeiten. Schnelle Tempowechsel überfordern unsere Wahrnehmung und sollten deshalb gemieden werden. Es wird empfohlen, ein konstantes Fortbewegungstempo aufrecht zu erhalten. Abruptes Anhalten führt ebenfalls eher zu Schwindel.

Immer in Blickrichtung laufen

Um nicht noch mehr verwirrende Signale an unsere Denkkzentrale zu senden, sollten Bewegung und Blickrichtung übereinstimmen. Schliesslich müssen wir ja auch sehen, wohin es geht.

Gewöhnung

Mit der Zeit gewöhnen wir uns an das Erlebnis und viele Benutzer berichten von einer Verbesserung, je öfter sie virtuell unterwegs sind.

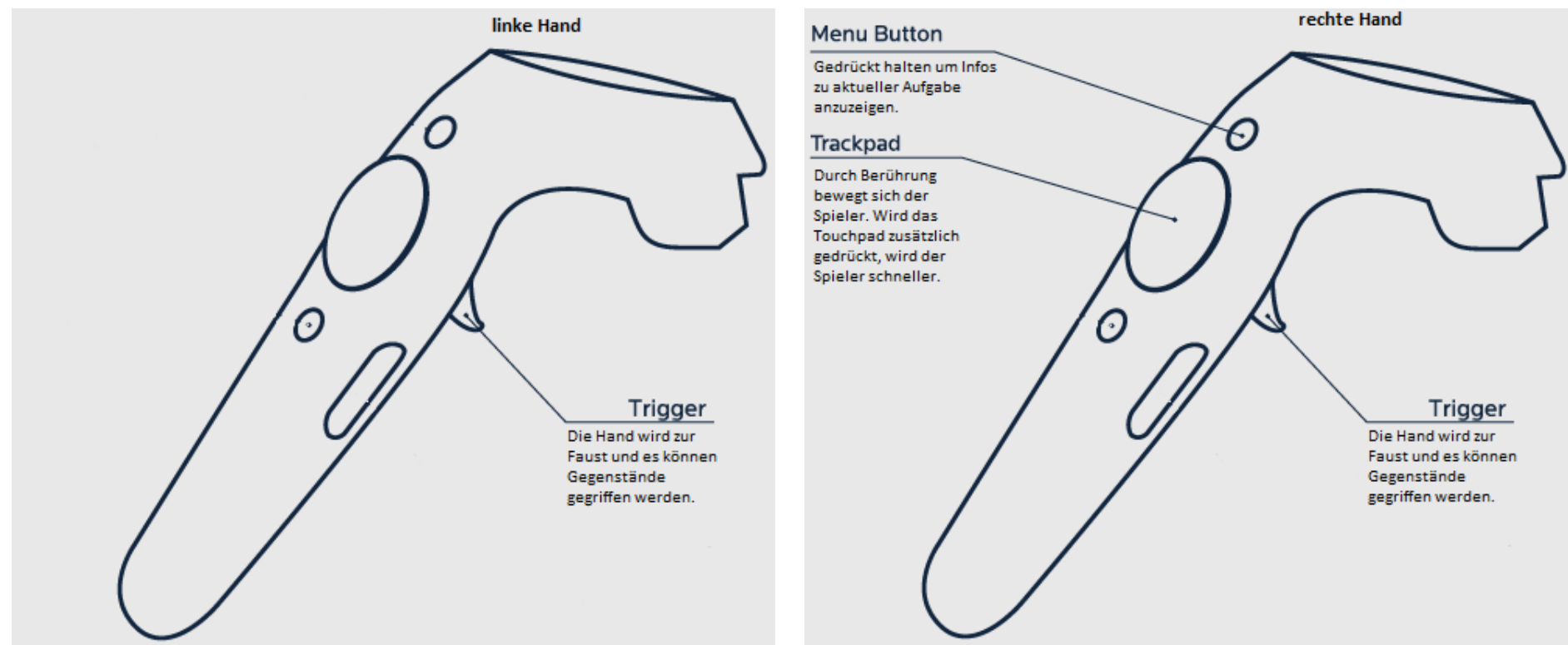
Bildschärfe

In der Mitte deines Blickfelds ist das Bild am schärfsten. Wenn du etwas lesen möchtest, fokussierst du mit deinem Blick einen Textteil.

Blatt bitte wenden.

Steuerung

Du steuerst mit zwei Controllern durch die virtuelle Welt. Die Bewegung wird sich für dich anfühlen, als würdest du schweben. Die Steuerung ist in den beiden Grafiken dargestellt. In der virtuellen Welt siehst du nicht die Controller, sondern zwei Handschuhe, welche auf deine Tastenbefehle reagieren. Mittels Trackpad des rechten Controllers kannst du durch die Lernwelt steuern. Dazu musst du nur deinen Finger darauflegen (ohne zu drücken) und bereits bewegst du dich. Drückst du die Taste, wirst du schneller – aber Achtung, manchen wird es bei hoher Geschwindigkeit beim ersten Mal etwas unwohl 😊 Die höhere Geschwindigkeit benötigst du nur um besser bergauf zu kommen. Drückst du den Trigger auf der Rückseite von einem der beiden Controller, kannst du Gegenstände aufheben. Drückst du den Menübutton des rechten Controllers, so werden dir die Aufträge nochmals schriftlich angezeigt.

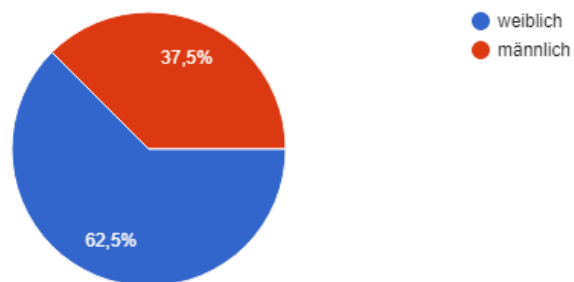


Anhang G Umfrageresultate – Beurteilung VR-Lernumgebung

Zuerst ein paar allgemeine Fragen.

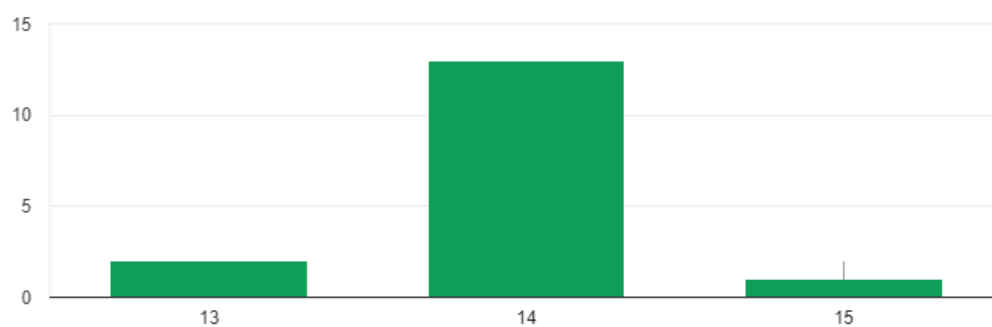
Was ist dein Geschlecht

16 Antworten



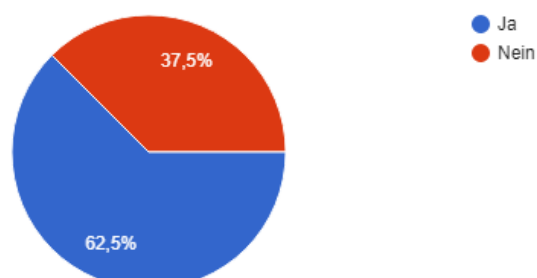
Was ist dein Alter?

16 Antworten



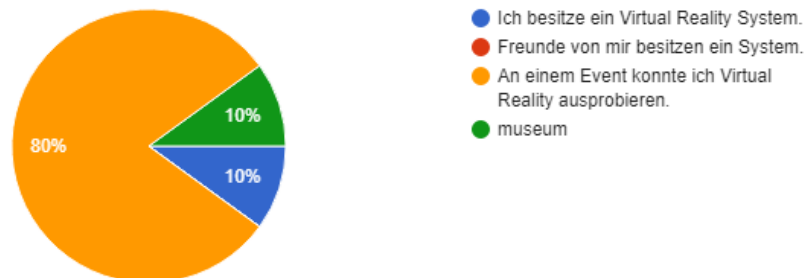
Hast du bereits vorher Erfahrungen mit Virtual Reality gesammelt?

16 Antworten



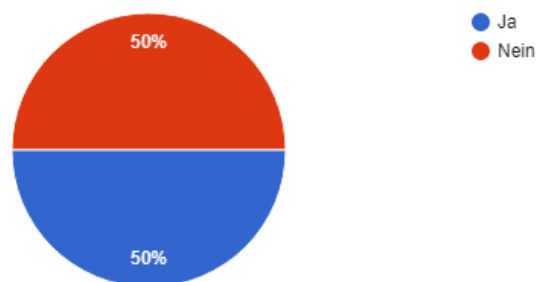
Falls du die vorherige Frage mit Ja beantwortet hast. Wo hast du die Erfahrung gesammelt?

10 Antworten



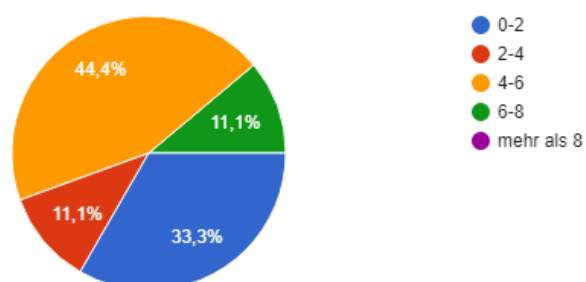
Spielst du Videospiele?

16 Antworten



Falls Ja, wie viele Stunden pro Woche verbringst du mit "Gamen"?

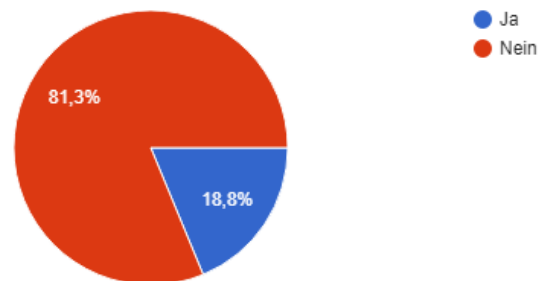
9 Antworten



Fragen zum Virtual Reality-Lernerlebnis

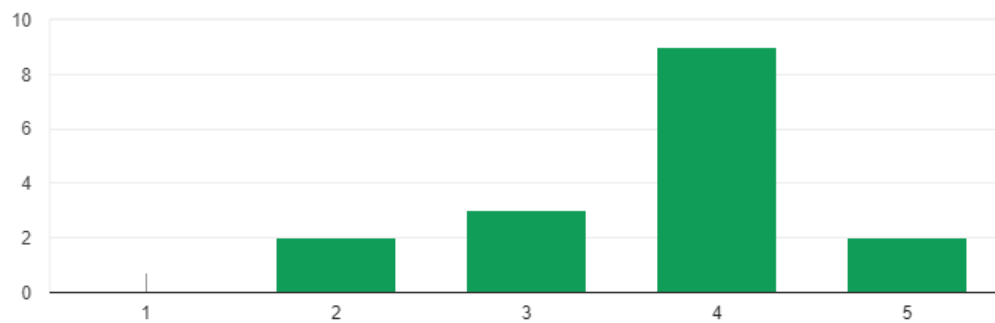
War dir während oder nachdem du in der VR warst unwohl?

16 Antworten



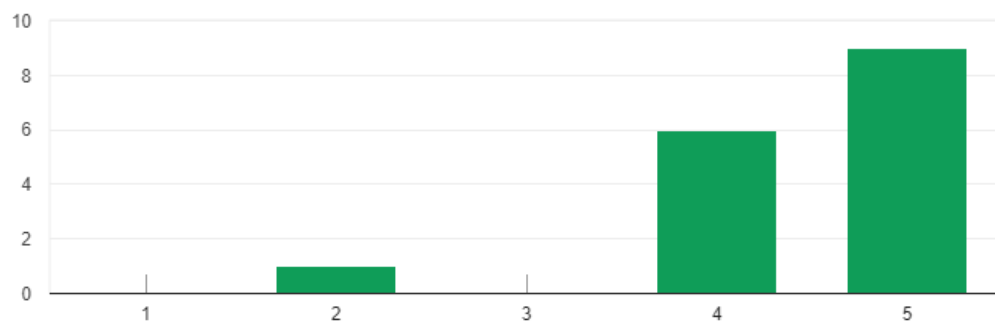
Die in der Lernumgebung dargestellte Welt sah realistisch aus.

16 Antworten



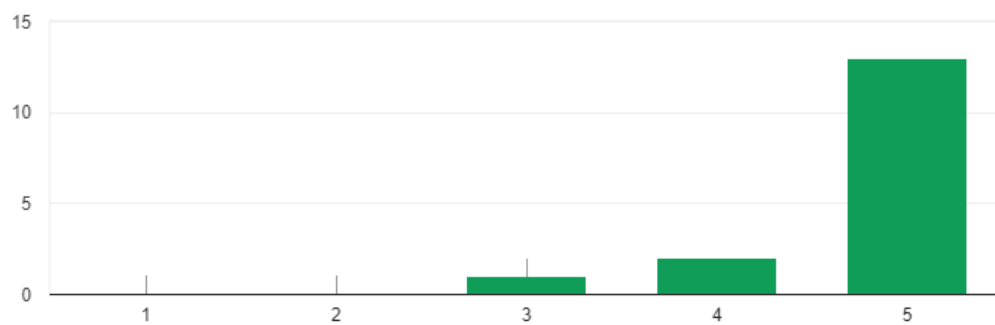
Das Erlebnis hat sich realistisch angefühlt.

16 Antworten



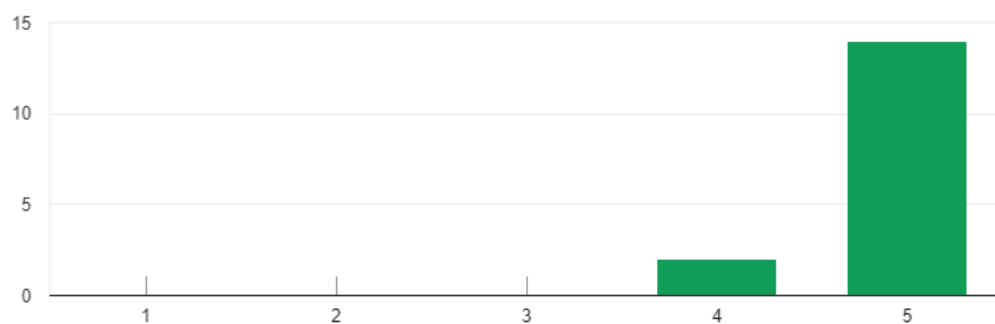
Ich war konzentrierter als im normalen Unterricht.

16 Antworten



Ich würde es begrüßen, wenn ich gemeinsam mit einem Klassenspändli durch die virtuelle Welt gehen könnte.

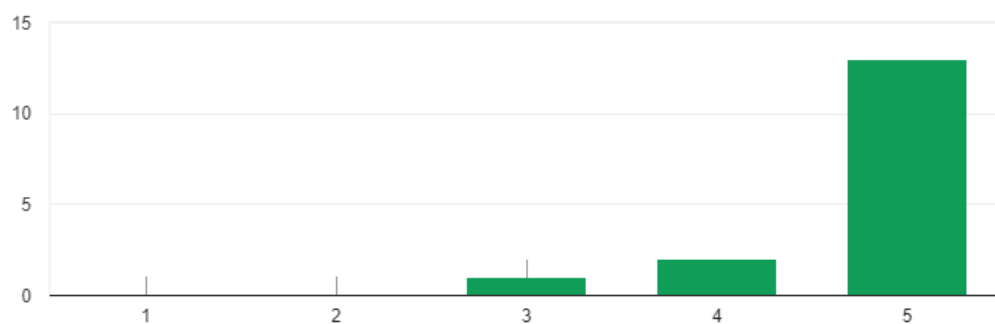
16 Antworten



Fragen zur Bedienung

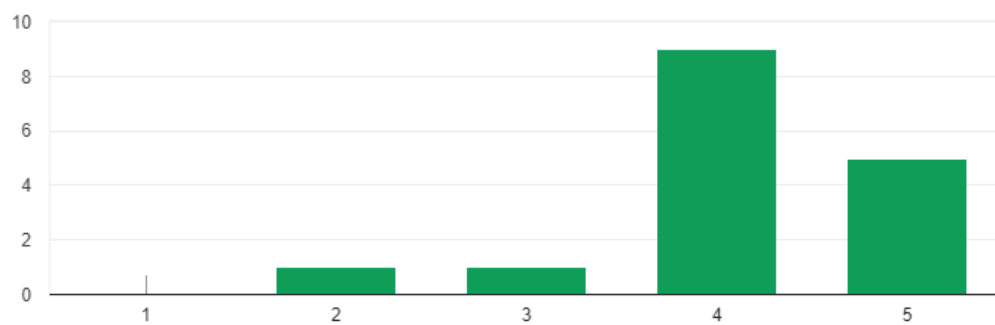
Die Steuerung mit den beiden Controllern war leicht zu erlernen.

16 Antworten



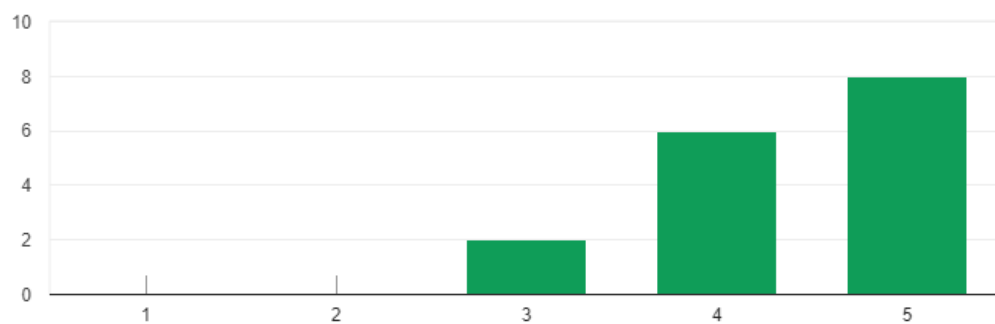
Mir war klar, wie ich mich in der virtuellen Welt bewegen konnte.

16 Antworten



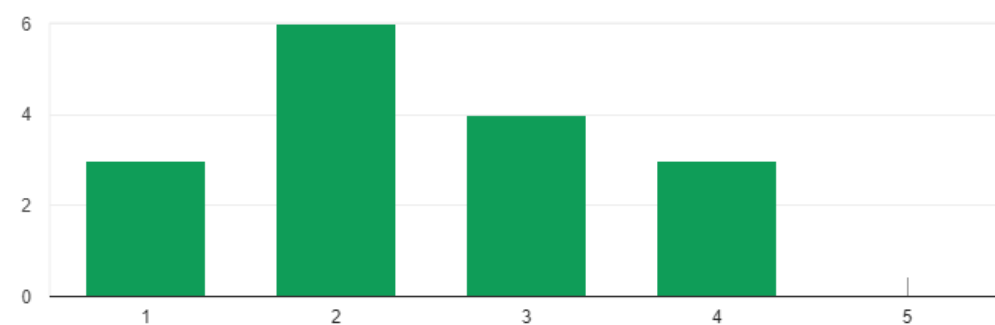
Die Anweisungen waren klar und verständlich.

16 Antworten



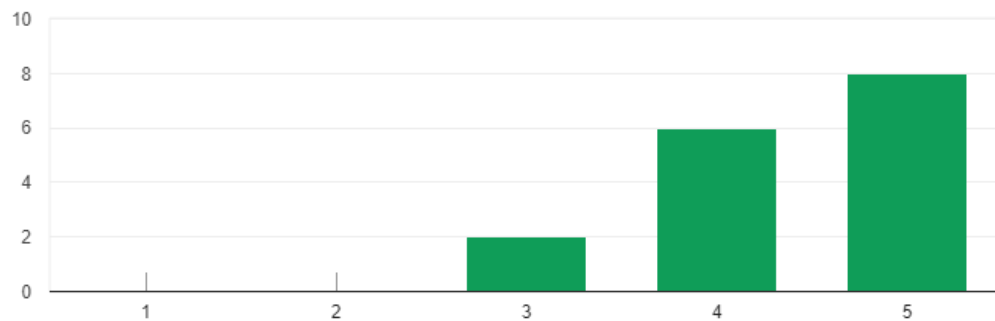
Mehr Anweisungen was ich tun soll, wären hilfreich gewesen.

16 Antworten



Die Bewegung (anfassen, aufheben, herumtragen) von Objekten war einfach und logisch.

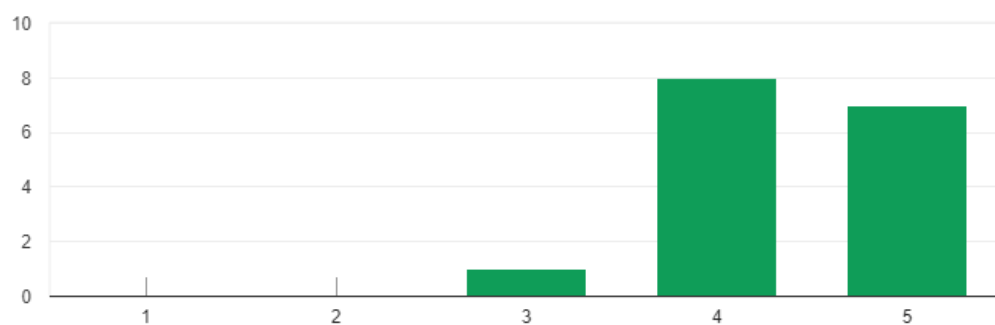
16 Antworten



Fragen zum Inhalt

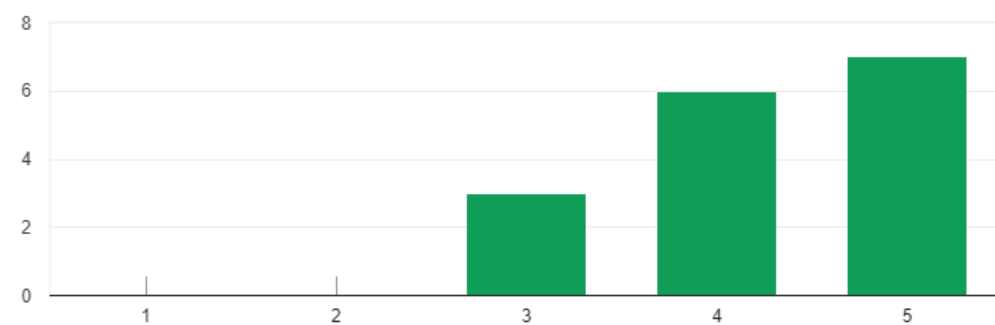
Die Virtual Reality-Lernumgebung hat mir geholfen, das Thema Mikroplastik zu verstehen.

16 Antworten



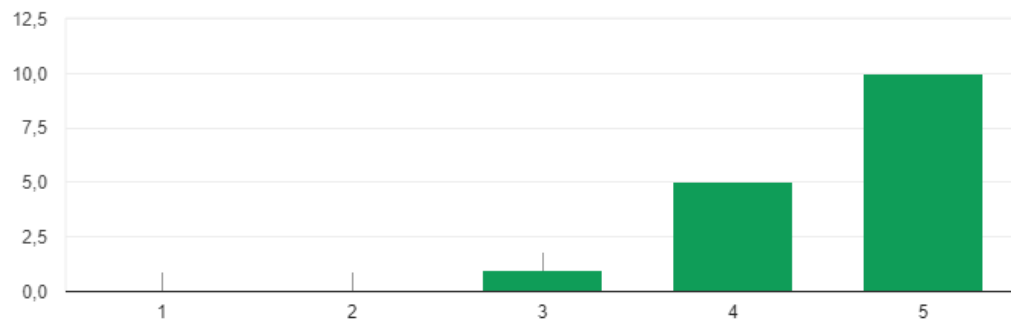
Dank dem Grössenvergleich von den Mikroplastik-Partikeln zur Ketchup-Flasche und dem Egli-Fisch verstehe ich, wie klein die sind.

16 Antworten



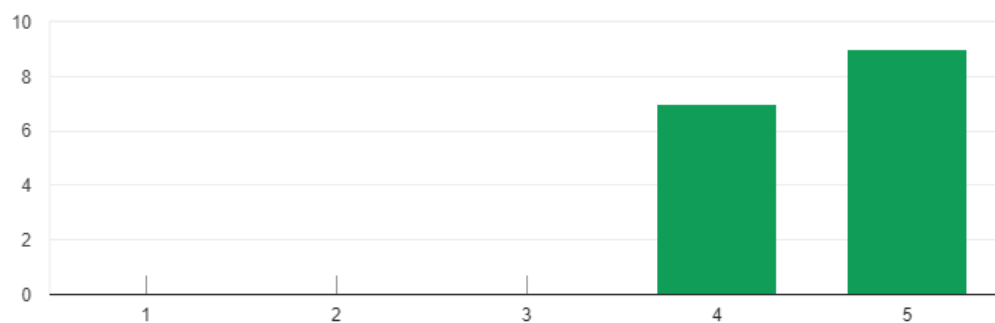
Mir wurde bewusst, dass Mikroplastik in unsere Nahrungsmittelkette gelangt.

16 Antworten



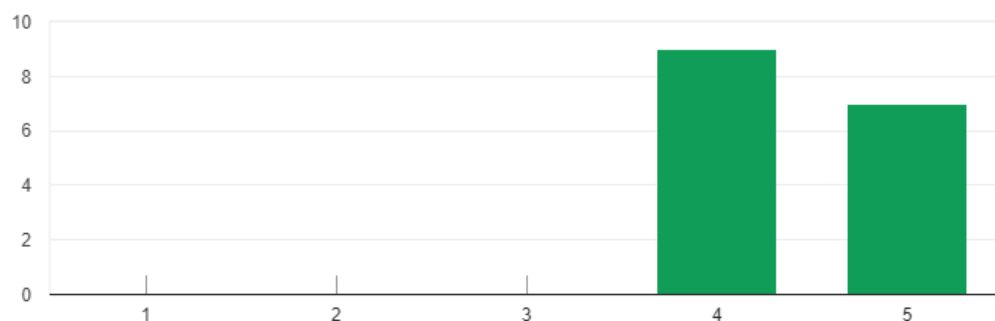
Die Möglichkeit mich frei zu bewegen und zu forschen half mir, das Thema zu verstehen.

16 Antworten



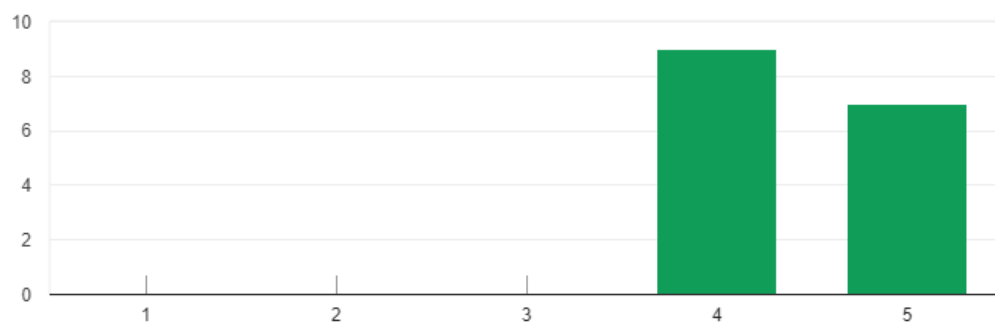
Die Audiokommentare halfen mir, das Thema zu verstehen.

16 Antworten



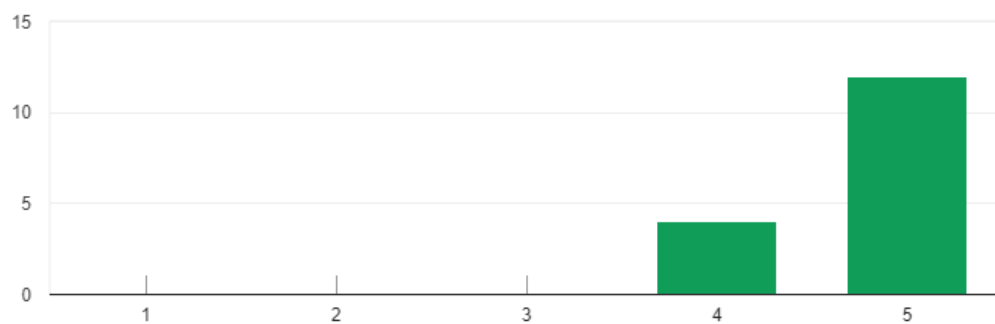
Die Audiokommentare halfen mir, das Thema zu verstehen.

16 Antworten



Das Video half mir, das Thema zu verstehen.

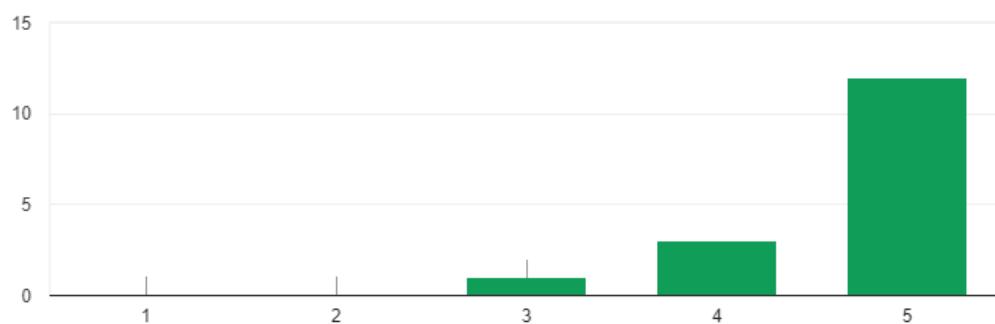
16 Antworten



Abschliessende Fragen

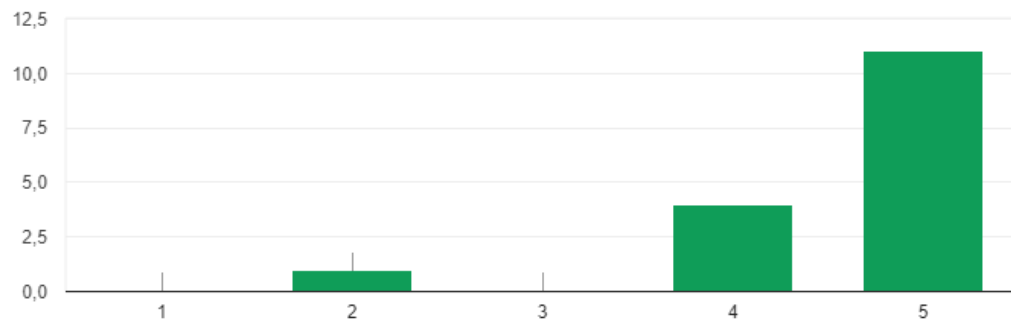
Eine Virtual Reality-Lernumgebung an der Schule könnte meine Lernmotivation erhöhen.

16 Antworten



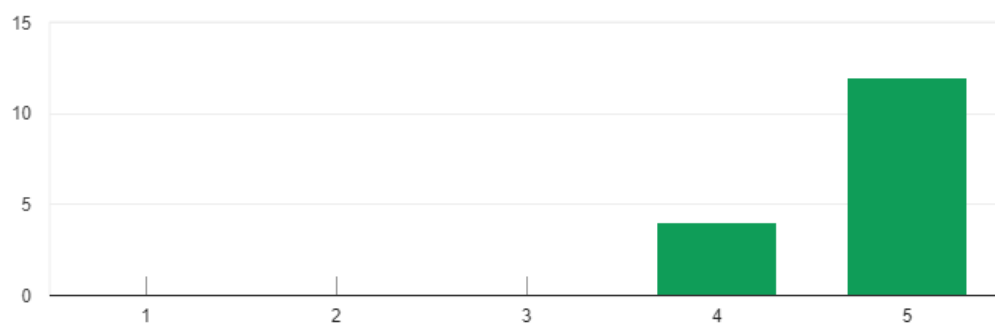
Eine Virtual Reality-Lernumgebung an der Schule könnte mein Interesse, etwas zu lernen, erhöhen.

16 Antworten



Ich würde künftig gerne wieder in einer virtuellen Welt lernen.

16 Antworten



Was würdest du verbessern?

5 Antworten

ton ein bisschen lauter und klarer

Die VR grafiken waren nicht gleich realistisch vielleicht mehrere grafikfolien benutzen damit die umgebung realistischer aussieht .die Wasser grafik war jedoch erstaunlich positiv

Es war alles perfekt und es war gut erklärt wie man die Aufgaben lösen sollte 🤖🤖

die grafik ist nicht die beste aber ich weiss auch das dies fast nicht besser geht

deutlicher sagen was zu tun ist

Sonstige Bemerkungen?

7 Antworten

coole idee

Es war unglaublich cool, da man so viel besser ins Thema eintauchen kann. Wäre es "normaler" Unterricht gewesen, wäre ich vor Langeweile wahrscheinlich gestorben :) Aber so macht das Lernen viel mehr Spass!

Ich finde es eine sehr spannende Sache. Ich bin sehr beeindruckt und würde es sehr toll finden, wenn wir in der Zukunft vielleicht mehr Unterricht so hätten.

Vielen Dank, es war super! 🙌😊

manchmal hatte man das Gefühl runter zu fallen

Es war sehr cool

Die Brille war vorne ein bisschen schwer.